



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Modelo de movilidad para la Smart City de Barcelona basado en la intermodalidad

Trabajo realizado por:

Javier Garrido Salsas

Dirigido por:

M. Rosa Estela Carbonell

Co-dirigido por:

Juan Argote Cabañero

Máster en:

Ingeniería de Caminos, Canals i Puertos

Barcelona, 23 de Junio de 2016

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

TRABAJO DE FINAL DE MÁSTER

“Planifica para los coches y tendrás atascos, planifica para las
personas y tendrás ciudadanos”

Frad Kent

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a Rosa Estela, tutora de mi trabajo de final de máster. Muchas gracias por haber confiado y creído en la idea que tuve para iniciar este trabajo de final de máster. Gracias por guiarme de forma excelente, siempre mostrando un gran interés por el proyecto e invirtiendo mucho tiempo en él.

Este proyecto no hubiera sido posible sin la colaboración del tutor externo Juan Argote Cabañero, Subdirector del *University of California Center on Economic Competitiveness in Transportation* (UCCONNECT) y Director de la empresa *VIA Analytics*. Muchas gracias por el tiempo invertido y el interés mostrado en mi proyecto. Me has proporcionado una gran ayuda con tus ideas y tus excelentes conocimientos técnicos en materia de transportes.

También me gustaría agradecer a Ole Thorson, Jordi Parés y Xavier Gisbert por las entrevistas que me concedieron y los conocimientos que me aportaron. Asimismo, agradecer a Oriol Juncadella, Director de operaciones de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya por facilitarme información muy útil para este proyecto.

Ha sido un proyecto muy cautivador para finalizar seis años de estudios en una escuela que me ha hecho crecer como persona y me ha brindado grandes oportunidades para realizar un doble diploma con *l'Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris*.

También me gustaría agradecer el apoyo de mi familia y de todos los compañeros de carrera que han formado parte de este bonito viaje universitario.

Resumen

Este trabajo presenta un nuevo modelo de movilidad para la ciudad de Barcelona y su Región Metropolitana. El objetivo principal es reducir el número de vehículos privados, principalmente coches, que se desplazan desde las afueras hasta el centro de la ciudad, consiguiendo así tener una urbe más sostenible.

El modelo que defiende este trabajo está basado en la intermodalidad, que consiste en utilizar en cada segmento de un desplazamiento el modo más óptimo y eficiente. La utilización de aparcamientos disuasorios o Park and Ride (P&R) con intercambio modal al servicio de transporte público es uno de los pilares básicos en los cuales se sustenta la cadena de transporte modal estudiada.

Para los principales corredores viarios de acceso a la ciudad de Barcelona, se ha determinado la localización óptima de una instalación de P&R. Asimismo, se ha demostrado que los costes generalizados del intercambio modal al transporte público son mejores que los de realizar todo el viaje con el vehículo privado hasta el centro de la ciudad.

En el modelo se ha integrado un sistema de bicicletas eléctricas compartidas, demostrándose que es un modo de transporte muy eficiente para lo que hoy en día se conoce como “la última milla”, es decir, los últimos kilómetros de un desplazamiento. Se ha demostrado que la aparición de la bicicleta eléctrica favorece el uso de los modelos de P&R, puesto que reduce los costes fijos de los últimos kilómetros de viaje cuando el usuario se encuentra en el centro de la ciudad.

Finalmente, se ha realizado un estudio sobre la viabilidad de este modelo en el contexto económico, social y político actual de la ciudad de Barcelona.

Palabras clave: Park and Ride, intermodalidad, bicicleta eléctrica, modelo de movilidad, Barcelona

Abstract

This project presents a new model of mobility for the city of Barcelona and the Metropolitan Region. The aim is to reduce the number of private vehicles, principally cars, which move from the suburbs up to the downtown, in order to have a more sustainable city.

The model defended in this project is based on the intermodality, which consists of using in every segment of a trip the most efficient mode of transport. The use of a Park and Ride (P&R) with modal exchange to the public transport is the basic innovation for the modal chain of transport studied.

In the principal highway corridors of access to the city of Barcelona, it has been determined the optimal location of an installation of P&R. Likewise, it has been demonstrated that the general costs of the modal exchange to the public transport are lower than those of doing the whole trip with private vehicle up to the downtown.

A system of electric shared bicycles is introduced in the model with the purpose of demonstrating that it is an efficient transport mode for the last mile. This project will study the impact of the electric bicycle in the P&R models, showing that they reduce the fixed costs of the last miles of trip of the users once they are in the downtown.

Finally, it has been analysed the viability of this model in the economic, social and politic situation of the city of Barcelona.

Key words: Park and Ride, intermodality, electric bicycle, model of mobility, Barcelona

Contenido

Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
Abstract	5
Contenido.....	6
Índice de tablas.....	9
1. Introducción.....	1
2. Principales características de los Park and Ride	3
2.1. Definición.....	3
2.2. Antecedentes históricos	4
2.3. Principales objetivos de los P&R.....	5
2.3.1. Factores clave del éxito de las instalaciones de P&R	5
2.4. Clasificación de los P&R por su distancia al destino final	6
2.4.1. Instalaciones de P&R urbano	7
2.4.2. Instalaciones suburbanas de P&R.....	7
2.4.3. Instalaciones remotas o de larga distancia	7
2.5. Estado del arte de los P&R.....	8
2.5.1. Ejemplos de lugares con buenas prácticas.....	8
2.5.2. Ejemplos de malas prácticas	15
3. Principales características de la bicicleta eléctrica	21
3.1. Ventajas e inconvenientes de la bicicleta eléctrica.....	21
3.2. Nuevos modelos de bicicletas eléctricas compartidas	22
3.2.1. Sistemas de bicicletas compartidas convencionales	22
3.2.2. Bicing eléctrico.....	24
3.2.3. BiciMad.....	25
4. Aplicaciones de las nuevas tecnologías en la movilidad del ciudadano	27
4.1. T-Mobilitat	27

4.2. Aplicaciones y webs de información	28
4.2.1. Aplicaciones Públicas.....	28
4.2.2. Aplicaciones Privadas	30
4.3. Ecooltra	33
5. Análisis de la movilidad en la Región Metropolitana de Barcelona.....	35
5.1. Ámbito de estudio.....	35
5.2. Movilidad en la RMB.....	36
5.3. Oferta actual de transporte	37
5.3.1. Red viaria	37
5.3.2. Red ferroviaria	39
5.3.3. Metro de Barcelona.....	45
5.3.4. Autobuses urbanos.....	47
5.3.5. Tarificación integrada de la Región Metropolitana de Barcelona.....	49
5.4. Aparcamientos disuasorios de la Región Metropolitana de Barcelona	50
5.4.1. Ocupación de vehículos privados	50
5.4.2. Modelo de negocio de los P&R de la operadora Renfe Rodalies: CercaParking	51
5.4.3. Caracterización de la demanda de aparcamiento	52
5.4.4. Visión de intermodalidad en la sociedad actual	53
6. Modelo de mejora de la movilidad de Barcelona	55
6.1. Modelos conceptuales existentes de P&R.....	55
6.2. Modelo Park and Ride aplicado para la ciudad de Barcelona.....	56
6.2.1. Función del coste generalizado de viajar en transporte público.....	57
6.2.2. Función de coste generalizado de viajar por carretera	58
6.2.3. Equilibrio del modelo incluyendo la instalación de P&R.....	59
6.2.4. Parámetros generales para el modelo de Park and Ride en los accesos de Barcelona	62
6.3. El desplazamiento de la última milla en la ciudad de Barcelona.....	67

6.4. Corredor del Maresme: Autopista del Maresme C-32 con P&R de correspondencia con la línea R1 de Rodalies	72
6.4.1. Cálculo del tiempo medio de acceso y salida del viaje por carretera en vehículo privado.....	73
6.4.2. Cálculo del tiempo medio de acceso y salida del ferrocarril.....	76
6.4.3. Cálculo del coste del peaje en función de la distancia.....	78
6.4.4. Localización óptima del P&R.....	79
6.5. Otros corredores de acceso a Barcelona.....	81
6.5.1. Acceso Vallès Oriental: Autopista AP7 – C33 con P&R de correspondencia con la R2 de cercanías	81
6.5.1. Acceso Baix Llobregat: Autopista C-32 con P&R de correspondencia con la R2 de cercanías	84
6.5.2. Acceso Vallès Occidental: Autopista C-16 con P&R de correspondencia con Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya	87
6.5.3. Acceso Alt Penedès: Autopista AP-7 con P&R de correspondencia con la R4 de Rodalies o FGC a partir de Martorell	89
6.5.4. Acceso Alt Penedès desde Igualada: Autovía A-2 con P&R de correspondencia con la R6 de FGC	90
7. Como integrar las nuevas tecnologías en el modelo de intermodalidad.....	92
8. Viabilidad del modelo en el contexto económico, social y político actual.....	93
8.1. Viabilidad económica	93
8.2. Viabilidad Social y Política.....	95
9. Conclusiones y reflexiones finales.....	96
9.1. Proyección futura del modelo	96
10. Referencias.....	98

Índice de tablas

Tabla 1. Subvenciones del STIF para los Parc Relais (P&R) de la Región Parisina.....	10
Tabla 2. Análisis del coste del estacionamiento durante 24h, incluyendo el billete de transporte público en los P&R de las ciudades analizadas.....	12
Tabla 3. Listado de los P&R en España	14
Tabla 4. Número de plazas de cada P&R durante las Olimpiadas de 1992	16
Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de la bicicleta eléctrica respecto a la convencional.....	22
Tabla 6. Tarifas del Bicing eléctrico	24
Tabla 7. Tarifas del servicio BiciMad	25
Tabla 8 Datos de la Región Metropolitana de Barcelona.....	35
Tabla 9. Principales accesos viarios a la ciudad de Barcelona.	38
Tabla 10 Trayecto de las líneas de Rodalies con sus conexiones y paradas en Barcelona. ..	39
Tabla 11. Características de las líneas de Rodalies que conectan Barcelona con la RMB. ...	41
Tabla 12 Líneas de los Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya.....	42
Tabla 13 Características de las líneas del Vallès en función de los trayectos realizados.....	43
Tabla 14. Características de las líneas del Llobregat-Anoia en función de los trayectos realizados.....	44
Tabla 15. Características del Metro de Barcelona.....	46
Tabla 16. Tabla recapitulativa de los datos del Metro.	47
Tabla 17. Características de la red de bus.....	47
Tabla 18. Tarificación integrada de la Región Metropolitana de Barcelona.....	49
Tabla 19. Tiempos de transbordo en función de la zona tarifaria de la RMB	49
Tabla 20. Aparcamientos de P&R de la red de ferrocarril de Renfe y FGC	50
Tabla 21. Reparto de las plazas de coche en cada una de las líneas de ferrocarril.....	50
Tabla 22. Customer Satisfaction Index (CSI) de la línea de Barcelona-Vallès de FGC.....	54
Tabla 23. Parámetros generales aplicables al modelo de P&R de Barcelona.	63
Tabla 24. Coeficientes de los tiempos de percepción de los usuarios.....	66
Tabla 25. Tabla recapitulativa de los tiempos medios de intercambio modal.....	66
Tabla 27. Parámetros específicos del corredor del Maresme	73
Tabla 28. Datos del Maresme.....	74
Tabla 29. Media de los tiempos de salida de la autopista C-32	75
Tabla 30. Resultados del cálculo del tiempo medio de salida del ferrocarril.....	77
Tabla 31. Parámetros para el cálculo del tiempo medio de acceso al tren.....	78

1. Introducción

Hoy en día más del 40% de la población Europea vive en las ciudades, mientras que el 28% vive en zonas rurales y el 32% en zonas intermedias como pueblos o suburbios (Eurostat, 2015). La combinación del exceso de desplazamientos con una oferta viaria de capacidad limitada implica que las ciudades se congestionen y alcancen altos niveles de contaminación. Con esta problemática en juego, son múltiples los escenarios que se están planteando de cara al futuro de las ciudades, pero sin lugar a duda, el objetivo principal es la reducción de los coches y la entrega del espacio público al ciudadano.

Este trabajo se centra en la mejora de la movilidad de la ciudad de Barcelona, con el objetivo de reducir el uso del vehículo privado y fomentar el transporte público. Mediante un sistema de P&R eficiente en cada una de las entradas de la ciudad, se tratará de reducir el número de vehículos privados que entran en la ciudad. Los usuarios que viven en zonas suburbanas tomarán su vehículo privado hasta el P&R y realizarán el intercambio modal al ferrocarril. Finalmente, también se pensará sobre el desplazamiento de última milla dentro de la ciudad, demostrando la ventaja de la utilización del transporte público, la bicicleta y los viajes a pie.

Desde los Juegos Olímpicos de 1992 la ciudad condal ha intentado implantar modelos de P&R con el objetivo de reducir el coche en el Área Metropolitana y en la mayor parte de los casos no ha tenido éxito (Llauradó, 1996). Sin embargo, la aparición incipiente de las nuevas tecnologías y de la bicicleta eléctrica en la vida cotidiana de los ciudadanos puede hacer cambiar este paradigma. Este estudio, entre otras metas, trata de mostrar el impacto que va a tener la bicicleta eléctrica en este modelo de movilidad basado en el intercambio modal y en el uso de los aparcamientos disuasorios.

La aplicación de las nuevas tecnologías es otro de los aspectos clave para conseguir que Barcelona sea una “Smart City” más eficiente en términos de movilidad y por consiguiente una urbe más sostenible para el ciudadano.

La cadena de transporte en la cual se apoya este trabajo está basada en la intermodalidad, que permite utilizar en cada segmento del desplazamiento el modo más óptimo y eficiente.

En la Figura 1 se esquematiza la cadena de intercambio modal considerada:

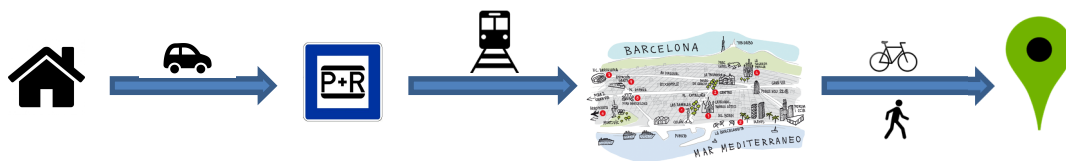


Figura 1. Esquema de la cadena de transporte estudiado en el trabajo

Los usuarios que vivan en las zonas suburbanas y que quieran acceder a Barcelona tomarán primero su vehículo privado hasta el P&R localizado en el corredor viario por el que circulen cuando se dirigen a la ciudad. A continuación tomarán el ferrocarril hasta una de las paradas céntricas de la ciudad. Finalmente, el último trayecto desde la parada de tren hasta el destino final se realizará a pie o utilizando el sistema de bicicleta eléctrica compartida.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: en primer lugar presentaremos las principales características de los P&R, las bicicletas eléctricas y las nuevas tecnologías; en segundo lugar, se efectuará un análisis de la movilidad en el ámbito de estudio seleccionado, la Región Metropolitana de Barcelona; finalmente, se presentará el modelo de intermodalidad ideado y se aplicará a la ciudad de Barcelona, analizando su viabilidad en el contexto económico, social y político actual en Catalunya.

2. Principales características de los Park and Ride

2.1. Definición

Se define Park and Ride (P&R) o aparcamiento disuasorio como los estacionamientos para vehículos que se encuentran en las afueras de las ciudades y que tienen el objetivo de alentar a los conductores a aparcarse su vehículo y realizar un intercambio modal al transporte público. Por este motivo, este tipo de aparcamientos están situados próximos a estaciones de bus o de ferrocarril, facilitando la intermodalidad entre el transporte privado y el transporte colectivo.

Así pues, los P&R proporcionan esencialmente dos servicios:

- 1) Aparcamiento para el vehículo privado en las afueras de las urbes
- 2) Intercambio modal al transporte público que une los aparcamientos con las zonas de atracción de viajes de las ciudades

Son instalaciones que permiten combinar de manera eficiente los beneficios de la utilización del coche privado y el transporte público, especialmente en las zonas donde éste último es escaso. El resultado directo de una buena práctica es la reducción de la congestión de coches en las ciudades, la mejora del medio ambiente y el incremento de uso del transporte público.

Naturalmente, se tienen que dar ciertas condiciones para que un aparcamiento disuasorio sea eficiente, ya que éste no tiene sentido cuando el transporte público no proporciona un acceso eficaz al centro de la ciudad o cuando los intervalos de servicio son largos o irregulares. Luego, antes de construir aparcamientos disuasorios se debe optimizar el transporte público.

Hoy en día se clasifican los P&R en tres tipologías:

1. P&R de autobuses

Este tipo de P&R ofrecen aparcamientos para vehículos privados e intercambio modal a líneas de transporte público de autobús. Estos aparcamientos disuasorios se empezaron a utilizar a partir de 1960 en Oxford. Hoy en día, también está creciendo el interés por el intercambio modal al transporte urbano de autobuses de tipo Bus Rapid Transit (BRT), un sistema de transporte urbano que cuenta con buses que ofrecen un servicio de alta calidad a través de vías exclusivas (o corredores) y estaciones en superficie que permiten que sea rápido, cómodo, rentable y con capacidades similares a las del metro. Un ejemplo actual es

el caso del Metrobus del Este de Inglaterra creado por las autoridades de Bristol, South Gloucestershire, Bath & North East Somerset y North Somerset. (TravelWest, Mayo 2016).

2. P&R de estaciones de ferrocarril

Los P&R de las estaciones de ferrocarril son los más comunes hoy en día y ofrecen el intercambio modal a líneas de transporte público de ferrocarril. Dentro de este tipo de aparcamientos disuasorios encontramos los que realizan el intercambio modal al ferrocarril de larga y media distancia, como también al metro o al tranvía. En el Reino Unido, los P&R conectados con el ferrocarril son predominantes en grandes ciudades como Londres, ciudad en la que existen tanto limitaciones de estacionamiento como de capacidad en las carreteras.

3. P&R de tipo *Carpool*

Las instalaciones de Park and Pool son generalmente pequeñas infraestructuras destinadas exclusivamente para el uso del “carpool” (también denominado “vanpool”, “carsharing”). Éste es un modelo de transporte que consiste en el uso compartido de un solo vehículo por personas que viajan a un mismo destino y en un mismo horario, tanto para trayectos periódicos como para viajes puntuales. A estas personas se les proporcionan plazas de aparcamiento en las instalaciones de Park and Pool de forma que acceden con un único vehículo a su destino final. Generalmente, a partir del P&R de vehículos compartidos se puede acceder a un carril de Vehículos de Alta Ocupación (VAO).

Por tanto, no todas las soluciones de aparcamiento disuasorio implican conexiones con el transporte público.

2.2. Antecedentes históricos

Los primeros modelos de P&R aparecieron durante la década de los 70 en Estados Unidos (Booz Allen & Mike, 2007). El objetivo principal era implantar nuevos servicios de transporte para los residentes de las zonas rurales y suburbanas que trabajaban en las zonas centrales de las ciudades y en zonas industriales con una fuerte atracción de empleo.

En el Reino Unido también se empezaron a emplear este tipo de servicios puesto que las grandes ciudades tenían problemas de congestión de tráfico y buscaban soluciones que se adaptaran al nuevo urbanismo. En los años 70 se implantaron aparcamientos disuasorios en las ciudades de Nottingham y Oxford y fue a mediados de la década de los 90 cuando el

desarrollo de estos modelos empezó a formar parte de la estrategia de transporte de gran parte de las administraciones locales.

2.3. Principales objetivos de los P&R

El objetivo principal de los P&R es descongestionar los centros de las ciudades transfiriendo la demanda de aparcamientos hacia zonas suburbanas, obteniendo los siguientes beneficios:

- Reducir la congestión en el centro de las ciudades.
- Reducir la congestión de las vías de acceso a las ciudades.
- Reducir los niveles de emisión de gases contaminantes y otros impactos ambientales.
- Reducir el número de plazas de aparcamiento en el centro de las ciudades.

Además, los aparcamientos de P&R también permiten mejorar el nivel de servicio y la relación coste-eficiencia del transporte público, puesto que se puede concentrar las líneas de transporte colectivo en las principales rutas de entrada a la ciudad, aumentando también la frecuencia de paso. Por consiguiente, los P&R permiten reducir los servicios de transporte públicos que no son rentables en zonas suburbanas con baja densidad de población, concentrándolos únicamente en las vías de acceso a la ciudad.

La mayoría de los modelos de P&R están concebidos para cubrir las necesidades de trayectos hacia el centro de las ciudades, principalmente para los trabajadores o *commuters*, que son aquellos que viven en las zonas suburbanas y trabajan en el centro.

2.3.1. Factores clave del éxito de las instalaciones de P&R

Las instalaciones de P&R deben ser un componente más de las políticas de tráfico y de aparcamiento de la ciudad, siendo recomendable su implantación cuando existe:

- Escasez de plazas de aparcamiento en el centro de la ciudad, ya sea como resultado de las limitaciones geográficas o por razones de política de transporte.
- Capacidad limitada para el tráfico en las rutas de acceso al centro de la ciudad.
- Frecuencia y capacidad adecuada en los servicios de transporte público hacia el centro de la ciudad.
- Un fuerte énfasis en el mantenimiento de la estructura y la integridad histórica de la zona central de la ciudad.

La congestión del tráfico parece una circunstancia básica para el éxito de los sistemas P&R, pero el éxito depende, en realidad, de la propuesta de medidas tales como un servicio de

transporte público con frecuencia y capacidad adecuadas a la demanda, y también un confort similar al del vehículo privado.

Generalmente los potenciales usuarios tendrán la opción de completar su viaje en coche. Por tanto, para conseguir que el P&R funcione con éxito, el nivel de servicio que ofrezca la alternativa de transporte público debe ser comparable al que se disfruta cuando se hace todo el viaje en coche.

En general, los sistemas conectados con el ferrocarril son más competitivos que los conectados con el servicio de autobuses ya que los viajes en tren son más seguros y más rápidos que el automóvil. En un estudio realizado en Australia (Booz Allen & Mike, 2007), en el que se analizaron los medios de transporte público empleados en los corredores radiales de entrada a sus principales ciudades, se llegó a la conclusión de que en los servicios ferroviarios, el uso de los P&R es de alrededor del 15% de los usuarios, con un 15% adicional de los *Kiss and Ride* (K&R), en las ciudades de Adelaida, Sidney y Melbourne. No obstante, en los servicios de autobús usuales los porcentajes de uso de los P&R son mucho más bajos que los del ferrocarril. Las cifras (para Adelaida, Brisbane y Perth) fueron del 1-5%.

Por otra parte, cuando los modelos de P&R con conexiones a líneas de autobús están vinculados carriles de alta ocupación de vehículos (carriles VAO), u otras medidas de prioridad de circulación del transporte público, los resultados de utilización del P&R son similares a los obtenidos en los sistemas basados en el ferrocarril. En el Adelaida O-Bahn se alcanzaron porcentajes del 12,5% de usuarios procedentes de los P&R, y un 11,5% adicional para los K&R. En Sydney, los usuarios de este tipo de servicios de autobús alcanzaron el 14% (P&R y K&R juntos).

Los P&R también pueden tener un papel crucial en las zonas de baja densidad de población como las zonas rurales, donde no es rentable proporcionar elevados niveles de servicio de transporte público. En este caso, los viajeros pueden acceder a un buen servicio de transporte público si acceden a estas instalaciones.

2.4. Clasificación de los P&R por su distancia al destino final

Esta clasificación está basada en Spillar (1997). En este artículo se distinguen tres tipos de P&R en función de la distancia al destino final.

2.4.1. Instalaciones de P&R urbano

Son aquellas que se sitúan entre unos 2 y 5 kilómetros del destino final del viajero y suelen ser aparcamientos disuasorios informales del tipo *Park and Pool* o aparcamientos de uso compartido. El intercambio modal que tiene lugar en estos aparcamientos suele ser a modos no motorizados tipo bicicleta o a pie. Estas se encuentran dentro de las ciudades y no suelen tener mucho éxito, puesto que el usuario una vez ha superado las congestiones de acceso a la ciudad, ya prefiere finalizar su viaje con el vehículo privado.

2.4.2. Instalaciones suburbanas de P&R

Estas son las más recurrentes a la hora de la planificación y el diseño de aparcamientos disuasorios. Los P&R suburbanos se encuentran a una distancia de entre 5 y 60 kilómetros del destino final y proporcionan un servicio intermodal. Normalmente se accede mediante vehículo privado y se realiza transferencia al transporte público. No obstante, también puede incluir otros modelos de tránsito como carpool o K&R.

Los medios de transporte públicos a los que ofrece intercambio modal son muy variados pero los más recurrentes son el ferrocarril, las líneas de autobuses convencionales o las líneas de BRT de alta ocupación.

2.4.3. Instalaciones remotas o de larga distancia

Este tipo de instalaciones también proporcionan un intercambio modal, pero se encuentran lejos del destino principal y pueden dar servicio a destinos secundarios. Este tipo de aparcamiento disuasorio es el resultado del aumento del coste de la vida en el centro de las áreas metropolitanas, lo que provoca un traslado de población a ciudades cercanas donde el coste del suelo es inferior. Se sitúan normalmente donde existen conjuntos de ciudades similares como por ejemplo Dallas - Ft.Worth o las comunidades del norte de New Jersey con la ciudad de New York (Spillar, 1997).

La distancia entre la instalación y el destino principal varía entre 60 a 120 kilómetros o más. Los P&R de larga distancia evitan que el usuario tenga que conducir largos trayectos y reduce sus gastos en el vehículo privado, evitando además la congestión de las vías.

2.5. Estado del arte de los P&R

2.5.1. Ejemplos de lugares con buenas prácticas

Acto seguido veremos varias prácticas de P&R en otras ciudades y países que han tenido éxito. Nos centraremos en buenas prácticas del continente Europeo, puesto que para nuestro estudio es más interesante analizar los casos de ciudades y países con culturas similares a la española.

Francia

Francia ha sido uno de los países pioneros en la utilización de modelos de P&R, que en francés se conocen como “*Parc Relais*”. Uno de los aspectos clave que ha contribuido al buen funcionamiento del modelo ha sido la certificación de estas infraestructuras. A base de normas y estándares establecidos por el organismo que subvenciona los aparcamientos, cada P&R recibe un certificado. Esta herramienta permite controlar y hacer un seguimiento de las subvenciones, consiguiendo que los servicios ofrecidos sean satisfactorios para los usuarios.

Los estándares establecidos por el Syndicat des Transports de l’Ile de France (STIF, 2013) a nivel regional son los siguientes estándares:

- Imagen común para todos los P&R certificados.
- Buen nivel de limpieza y mantenimiento.
- Accesibilidad para personas de movilidad reducida (PMR).
- Información de calidad para los usuarios.
- Tarifas reguladas a nivel regional que son decrecientes en función del grado de alejamiento respecto a la ciudad de destino. El objetivo buscado es una armonización de las tarifas por zona para evitar los fenómenos de transvase a otra estación. Los ingresos de la tarificación contribuyen al equilibrio económico del gestor del aparcamiento y al mantenimiento de la calidad.
- Posibilidad de cargar el abono en la tarjeta de transporte *contactless*.
- Vigilancia dentro del P&R.

Según el estudio del STIF en 2013, la región parisina cuenta con 105 000 plazas de estacionamiento en las estaciones de tren. El 80% de las estaciones de tren de l’Ile de France están equipadas con aparcamientos: un total de 550 P&R en 445 estaciones de transporte en común. Estas están distribuidas de la siguiente manera:

- 56 % de la oferta de plazas de aparcamiento en la zona 5.
- 28 % de la oferta de plazas de aparcamiento en la zona 4.
- 16 % de la oferta de plazas de aparcamiento en las zonas 2 y 3.

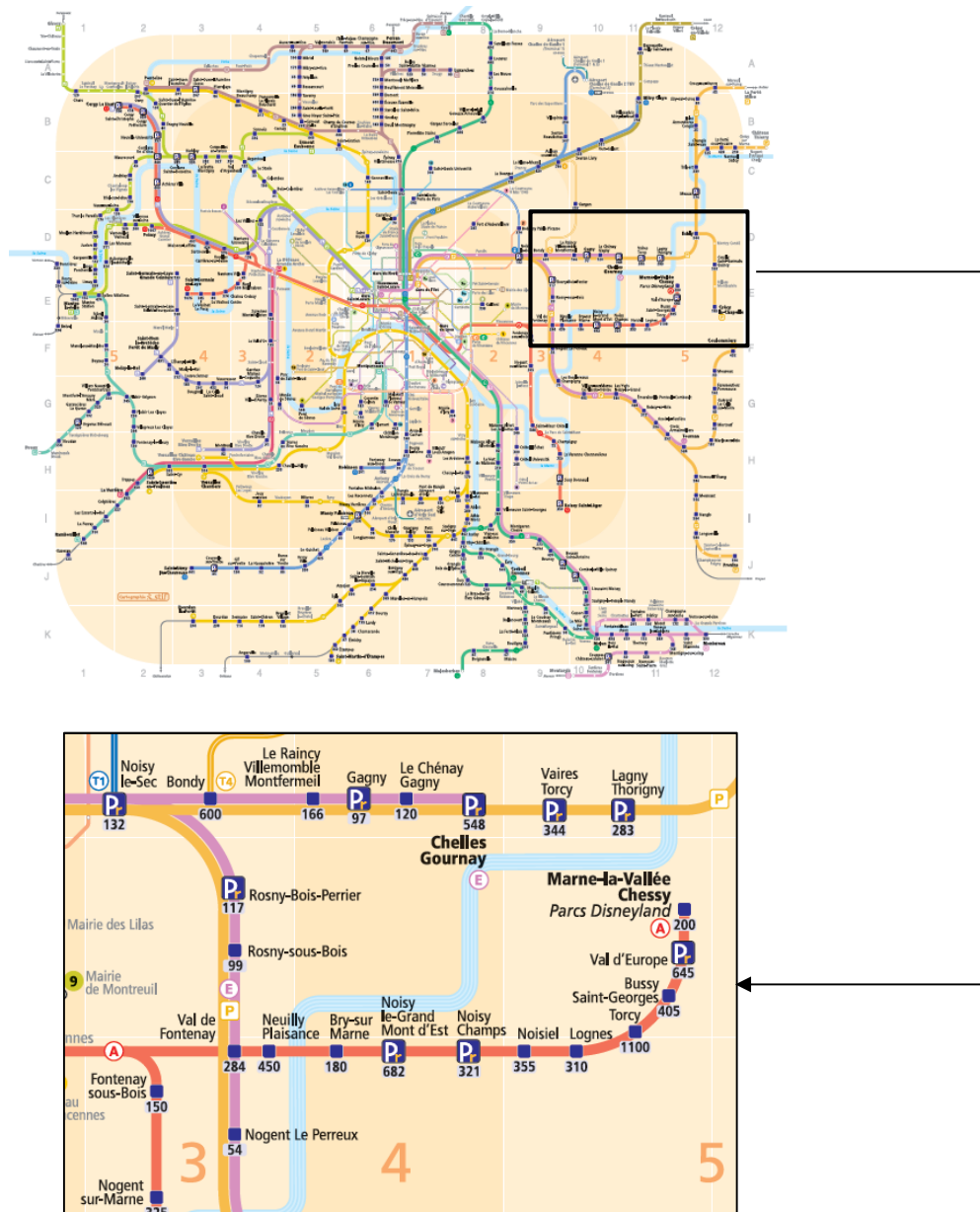


Figura 2. Plano de los P&R de la Región Parisina. Fuente: STIF

El gestor del aparcamiento se compromete a implementar la certificación y mantenerla durante todo el periodo de contrato con el STIF. El beneficio para el gestor proviene de los incentivos anuales al cumplir con los diferentes indicadores de certificación. El STIF participa en el financiamiento de los proyectos de P&R hasta un límite del 75%, según el esquema de subvenciones de la Tabla 1.

Tabla 1. Subvenciones del STIF para los Parc Relais (P&R) de la Región Parisina.

Tipo de operación	Cantidad	Amortización Duración del convenio
P&R en espacio abierto	3 100 €/plaza	15 años
P&R en obra	10 000 €/plaza	30 años
Rehabilitación	En función del proyecto*	15 años
Señalización	En función del proyecto*	15 años

*Hasta un límite del 75% del valor del proyecto.

Otro ejemplo de buena práctica en este país lo encontramos en la ciudad de Estrasburgo, donde el ayuntamiento ofrece una aplicación con información a tiempo real de todos los servicios de transporte público y también de la localización y disponibilidad de los diferentes P&R de la ciudad (ver Figura 3). Esto resulta muy útil puesto que permite planificar los viajes del usuario con un alto nivel de fiabilidad.

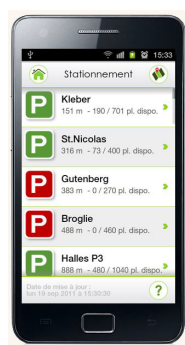


Figura 3. Aplicación de P&R de la ciudad de Estrasburgo

Alemania

Alemania es otro de los países de la Unión Europea que han logrado establecer un sistema de aparcamientos disuasorios con éxito. Según el estudio realizado por Eurotest (2009), en las principales ciudades alemanas los aparcamientos disuasorios reducen el transporte privado en un 4%. En el 2007, un 3% de los pasajeros de la red de transporte público de Múnich usó los parkings disuasorios, siendo este porcentaje un total de 26.650 coches. Como podemos ver en la Figura 4, Múnich tiene un gran número de aparcamientos disuasorios conectados con la red de transporte urbano, especialmente con el ferrocarril.

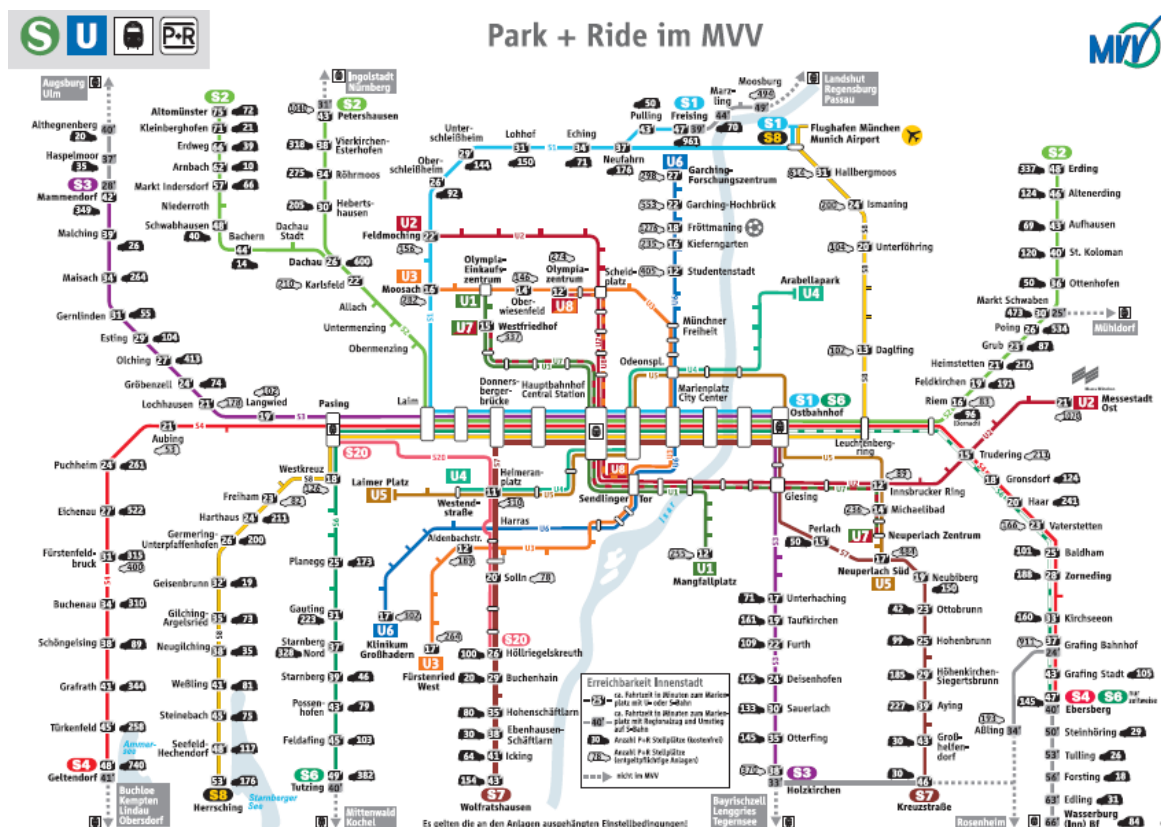


Figura 4. Red ferroviaria de transporte urbano y P&R de Múnich

Ginebra

Los P&R de Ginebra (Suiza) tienen una tarificación mensual que varía de 80 a 180 francos suizos (65 a 145€ aproximadamente) en función de la lejanía del centro de la ciudad. Las tarifas más elevadas se aplican en los aparcamientos más cercanos al centro, con el objetivo de beneficiar el intercambio modal en las afueras de la ciudad.

El abono P&R comprende el aparcamiento y un servicio ilimitado al transporte colectivo urbano. También existe una tarificación diaria para el uso del P&R incluyendo también el acceso ilimitado al transporte público durante un día. Esta tarificación integrada constituye un sistema muy valorado y práctico para los ciudadanos.

Costes de estacionamiento en los P&R de ciudades de la Unión Europea

Según el estudio de Eurotest (2009) uno de los datos interesantes a evaluar es el precio de utilización del servicio del P&R incluyendo el billete de transporte público. A excepción de Ginebra, Oslo, París y Estocolmo, ciudades dónde el nivel de vida es más caro, podemos constatar que la media del coste del P&R incluyendo billete de transporte público se sitúa alrededor de los 5,2€.

Tabla 2. Análisis del coste del estacionamiento durante 24h, incluyendo el billete de transporte público en los P&R de las ciudades analizadas

Ciudad	Precio [€]
Ginebra	40,59
Oslo	24,19
París	15,70
Estocolmo	10,89
Viena	6,40
Colonia	6,40
Helsinki	6,40
Múnich	6,10
Ámsterdam	6,00
Berlín	5,60
Hamburgo	5,20
Roma	5,00
Sheffield	4,49
Luxemburgo	3,00
Budapest	3,00
Praga	2,57
Liubiana	1,00

Caso de España

Hoy en día la mayor parte de la población desconoce la existencia del P&R, de manera que el vehículo privado sigue siendo el modo de transporte más empleado para el acceso a las ciudades. Como podemos ver en la Figura 5, de los desplazamientos efectuados en medios mecánicos, un 78% se realizan en coche o moto. Además, constatamos en la Figura 6 que prevalece el uso del modo privado para los desplazamientos a centros de trabajo habituales.

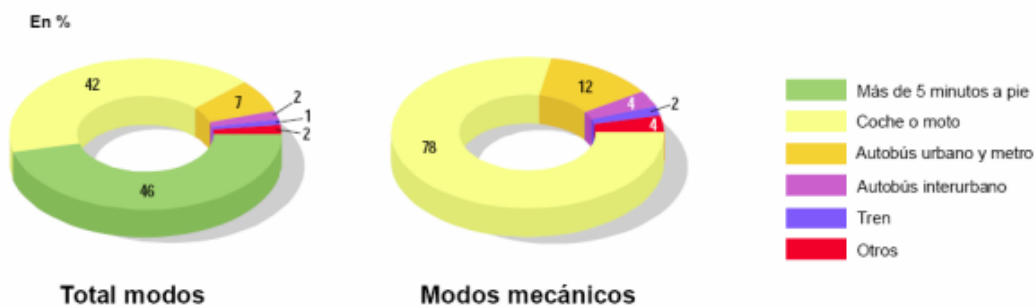


Figura 5. Modos de los desplazamientos en día laborable. Fuente: El transporte urbano y metropolitano en España, Ministerio de Fomento (2013).



Figura 6. Modos empleados en los desplazamientos a centros de trabajo habituales. Fuente: El transporte urbano y metropolitano en España, Ministerio de Fomento (2013).

La causas por las cuales el vehículo privado es más utilizado son: por un lado las autoridades no promueven modelos más sostenibles; por otra parte en España existen un gran número de infraestructuras viarias sin apenas carriles específicos o medidas prioritarias para el transporte público. Además según el informe de la comisión técnico-científica para el estudio de las mejoras en el sector ferroviario del Ministerio de Fomento, las redes de ferrocarril, se encuentran bastante obsoletas, exceptuando las nuevas líneas de alta velocidad.

La implantación de los aparcamientos disuasorios en España ha sido posterior en comparación con otros países europeos. Los primeros P&R fueron adaptaciones de los aparcamientos de la red de Cercanías y de Metro de Madrid en la década de los 90, mientras que la ciudad de Oxford (Reino Unido), ya en el año 1968, se puso en funcionamiento un servicio experimental de P&R con conexiones al autobús urbano.

Asimismo constatamos que el número de instalaciones en funcionamiento es muy inferior al de otros países. En efecto, en toda España hay tan sólo 55 instalaciones de P&R implantadas, mientras que, como hemos visto anteriormente, en la ciudad de París existen más de 500 instalaciones de aparcamiento disuasorio asociadas a la red de transporte urbano.

Resumiendo, podemos destacar que España aún se encuentra desfasado con respecto a las ciudades europeas, un retraso que costará tiempo recuperar dadas las condiciones económicas actuales.

Tabla 3. Listado de los P&R en España. Fuente (Aparcamientos disuasorios: propuesta de aplicación en el municipio de Vigo, 2010)

Parking	Ciudad	Año	Plazas	Distancia al centro	Coste	Forma acceso
Glories	Barcelona	1996	700	0	7€/día	Bus -Metro
Hospital Joan XXIII	Tarragona	2009	89	0	Gratuito	Bus
Av.Toma	Tarragona	2009	390	0	1€/día	Bus
Av. Comerç	Reus	2005	200	0	Gratuito	Bus
Valencia Sud	Valencia	2008	170	6 km	Gratuito	Metro L1
Massarajos	Valencia	2008	62	10 km	Gratuito	Metro L1
Rocafort	Valencia	2008	54	11 km	Gratuito	Metro L1
Fuerte del Jarro	Valencia	2008	52	14 km	Gratuito	Metro L1
Seminari-CEU	Valencia	2008	48	11 km	Gratuito	Metro L1
Lliria	Valencia	2008	41	27 km	Gratuito	Metro L1
Empalme	Valencia	2008	40	4 km	Gratuito	Metro L1
L'Elia	Valencia	2008	39	22 km	Gratuito	Metro L1
Bétera	Valencia	2008	60	19 km	Gratuito	Metro L1
Font Almaguer	Valencia	2008	42	25 km	Gratuito	Metro L1
Loiola	San Sebastián	2005	290	4 km	Gratuito	Eusko Tren - dBus
Igara	San Sebastián	2006	328	4 km	Gratuito	dBus
Ondarreta	San Sebastián	2006	241	3 km	Gratuito	dBus
Autopista A-8	Zarautz	2007	45	4 km	Gratuito	Carsharing
Aritzeta	San Sebastián	2007	159	2 km	Gratuito	Carsharing
Behobia	Irún	2007	62	10km	Gratuito	Carsharing
Zestoa	Zestoa	2007	59	2 km	Gratuito	Carsharing
Elqoibar	Elqoibar	2007	32	3 km	Gratuito	Carsharing
Estación de Etxebarri	Bilbao	2006	167	4 km	0.50€/día	Metro
Est. de Leioa	Bilbao	2006	254	9km	0.65€/día	Metro
Estación de Ansio	Bilbao	2007	1200	7 km	0.65€/día	Metro
Río Queiles	Pamplona	2009	160	2 km	Gratuito	Bus urbano
Azpilagaña	Pamplona	2008	200	2 km	Gratuito	Bus urbano
Av. de Cataluña	Pamplona	2009	230	2 km	Gratuito	Bus urbano
C/Coronel Baeza	Toledo	2007	500	3 km de Toledo	Gratuito	Bus
Condesquinto	Sevilla	2009	406	7 km de Sevilla	0.80€/día	Metro Sevilla L1

La mayor parte de los aparcamientos disuasorios son gratuitos si los usuarios realizan el intercambio modal al transporte público.

También hay varios P&R que no son gratuitos, pero el coste de estacionamiento es muy bajo comparado con los servicios de aparcamiento en el centro de la ciudad. Los precios oscilan entre 0,50 €/día y 1 €/día, excepto el parking de Glories de Barcelona.

2.5.2. Ejemplos de malas prácticas

2.5.2.1. Fracaso del Park and Ride en las Olimpiadas de Barcelona de 1992

En primer lugar analizaremos este caso puesto que fue la primera vez que se intentó instalar un modelo de P&R en Barcelona.

La recepción de los Juegos Olímpicos por parte de la ciudad de Barcelona implicó una reflexión sobre la movilidad. Dada la gran envergadura de un evento como los JJOO, se planteó la necesidad de ofrecer altos niveles de fluidez, regularidad y seguridad para los diferentes flujos de movilidad-. De los estudios realizados por TRANSGRUP y según las previsiones de COOB-92, se estimó que la ciudad recibiría alrededor de 200.000 visitantes al día, con un máximo de 320.000 (Llauradó, 1996). Entre los diferentes planes de actuación que se propusieron, en este estudio destacamos los siguientes:

- Configurar un sistema de aparcamiento de autocares que facilitara el intercambio modal y evitara su estacionamiento en el centro de la ciudad.
- Crear una oferta de acceso a la ciudad mediante intercambio de turismo-tren. Es decir, lo que hoy en día conocemos como un P&R.
- Promover una oferta de estacionamiento para visitantes en el centro de la ciudad.

En base a estas líneas de actuación, la Empresa de Movilidad Olímpica 92' ofreció los siguientes productos:

1. Aparcamientos de intercambio EMO

El objetivo era garantizar cadenas de transporte eficaces entre transporte de vehículo privado y transporte público, con el fin de evitar la congestión y la indisciplina de estacionamiento que se producirían con un libre acceso de vehículos al interior de la ciudad. Para ello fue previsto construir nueve aparcamientos a proximidad de las estaciones de tren de cercanías.

Así pues, podemos decir que para los Juegos Olímpicos se ideó un sistema de P&R en Barcelona, que constaba con los siguientes aparcamientos:

Tabla 4. Número de plazas de cada P&R durante las Olimpiadas de 1992

Park Tren	Número de plazas
Vilanova i la Geltrú	1.000
Sant Boi	250
Castell Bisbal	2.300
Cornellà	360
Sant Quirze	1.000
La Llagosta	1.700
Circuit de Catalunya (Montmeló)	1.800
Blanes	330
Montgat	1.000
Total	9.740

La tarifa de estacionamiento “Parktren” consistía en una oferta combinada de aparcamiento para el vehículo privado, y un billete de ida y vuelta de ferrocarril, además de un “Billete Olympic Parktren” con número ilimitado de viajes dentro de Barcelona durante un día en la red de transportes públicos: metro, autobuses de TMB y los Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya. Las tarifas de “Parktren” variaban en función de la ocupación del vehículo, una tarificación muy vanguardista en aquella época.

Los principales motivos por los que el sistema no tuvo éxito fueron los siguientes:

- No existía suficiente información sobre la localización y el funcionamiento de los aparcamientos en términos de tarificación y plazas disponibles.
- Los aparcamientos no estaban situados lo suficientemente cerca de las estaciones de tren.
- Algunos de ellos estaban localizados demasiado lejos del centro de Barcelona, como por ejemplo el de Blanes, que se encuentra a 72km.
- Este tipo de parking sólo era útil para los *commuters*, es decir, los trabajadores que viajaban a Barcelona y tenían sus horarios de viaje planificados. Sin embargo, para los turistas no era ventajoso ya que el servicio de tren tenía unos horarios fijos y existía el riesgo de que se encontraran sin trenes de vuelta en el momento en que los necesitaban.

A pesar de que durante las olimpiadas este modelo de P&R no demasiado éxito, la mentalidad de los ciudadanos ha cambiado completamente y la llegada de las nuevas tecnologías conlleva muchas ventajas y oportunidades para el funcionamiento de este sistema. A lo largo de este

estudio veremos que hoy en día a través de un Smartphone se puede conocer el estado del servicio de transporte público y la disponibilidad de los aparcamientos en tiempo real. Por otra parte, la mentalidad de la gente ha cambiado en estas últimas décadas. La sociedad está más sensibilizada con el medio ambiente, favoreciendo un intercambio modal al transporte público.

Finalmente, la aparición de modelos de bicicletas compartidas (tradicionales o eléctricas) como medio de transporte, favorece como veremos más adelante los modelos de P&R.

2. Aparcamientos en el centro de Barcelona

Otro de los proyectos consistía en ofrecer plazas de aparcamiento en el centro para los visitantes que reservaran con antelación. Para ello se inventariaron aproximadamente 2000 plazas de parking públicas y privadas distribuidas por todo Barcelona. Este proyecto, conocido como Parkcentre 92', consistía en proporcionar estacionamientos en zonas específicas de la ciudad más un “Billete Olímpic” para sus ocupantes. Con este billete se tenía circulación libre en los transportes públicos durante un día. Si bien este producto parecía contradictorio con la política de restricción del tráfico privado, tenía la virtud de colaborar a la disuasión por dos motivos: por un lado por el precio del billete combinado con el transporte público, favoreciendo su uso; por el otro, el hecho de la reserva anticipada evita que los vehículos ocupen las vías inútilmente mientras dan vueltas para encontrar un aparcamiento.

El motivo por el cual estos aparcamientos no tuvieron mucha utilización es porque algunos de ellos no tenían una localización adecuada, ya que estaban lejos del centro y con una red de transporte público que no ofrecía unas buenas velocidades comerciales y frecuencias de paso para acceder hasta el destino final.

Por otra parte, tampoco existía interés en aparcar en estos parkings, ya que una vez sobrepasado el atasco del acceso a la ciudad, el usuario intentaba aparcar directamente cerca de los lugares de atracción de viajes para presenciar las competiciones olímpicas.

Finalmente, destacar que este concepto de desarrollar un parking cercano a cada una de las atracciones turísticas es contradictorio, puesto que se pierde el enfoque de la propuesta inicial de reducción del vehículo privado, ya que al final acabarías teniendo una situación muy similar a la que había antes, dónde el uso del transporte público no es esencial.

2.5.2.2. Problemática del Park and Ride improvisado

El fenómeno de los P&R improvisados o no planificados ya existía antes de la irrupción del P&R planificado. Un conductor que vive cerca de una estación de tren, puede desplazarse con su vehículo privado hasta ella y aparcar en la estación o en los alrededores de la misma. Así, puede tomar un tren para efectuar un recorrido de larga distancia y llegar a su destino final, el centro de la ciudad. No obstante, cuando un gran número de personas quieren utilizar estos aparcamientos improvisados, se pueden producir problemáticas sociales.

En el municipio de Les Planes, situado en la Región Metropolitana de Barcelona, la gente utilizaba como P&R improvisado un descampado cercano a la estación de tren. Su uso se masificó debido a que la estación de Ferrocarriles de la Generalitat es la primera de zona 1 de tarificación. Por este motivo, un gran número de individuos empezó a venir desde municipios lejanos para aprovecharse de la tarifa reducida. Sin embargo, esto genera riesgos ya que, estando en pleno Parque de Collserola, está destinado a ser un punto de reunión en caso de emergencias forestales. Además también limita el aparcamiento disponible para acceder a un centro de salud situado cerca de la estación. Por consiguiente, este espacio que los ciudadanos utilizan como P&R improvisado, no tiene esa función y no debería de estar lleno de vehículos.

En resumen, este suceso que tuvo lugar en las Planes nos demuestra que el usuario que accede al centro de la ciudad intenta siempre minimizar los costes de su viaje y realiza intercambios modales del vehículo privado al transporte público aparcando en zonas que no están correctamente acondicionadas, creando un P&R improvisado de manera espontánea.

2.5.2.3. Mala señalización de acceso a los P&R en el territorio de Catalunya

Una de las causas del fracaso de los P&R en Catalunya ha sido la insuficiencia en la señalización. Según el estudio de ATM (2013) tan solo un 6% de 155 aparcamientos disuasorios de las estaciones de Cercanías de la Región Metropolitana de Barcelona analizados están señalizados específicamente desde la red viaria. Este hecho favorece el desconocimiento del sistema por parte de los usuarios y por consecuencia su mal funcionamiento.

Por otra parte, también se puede destacar las faltas en la continuidad de la señalización y la poca homogeneización de los distintos carteles utilizados, lo cual genera confusión entre los usuarios.



Figura 7. Fotografías que ilustran la falta de homogeneidad de la señalización de los P&R en las estaciones de Ripoll, Flaçà, Vila-Seca y Montblanc Fuente: (ATM, 2013)

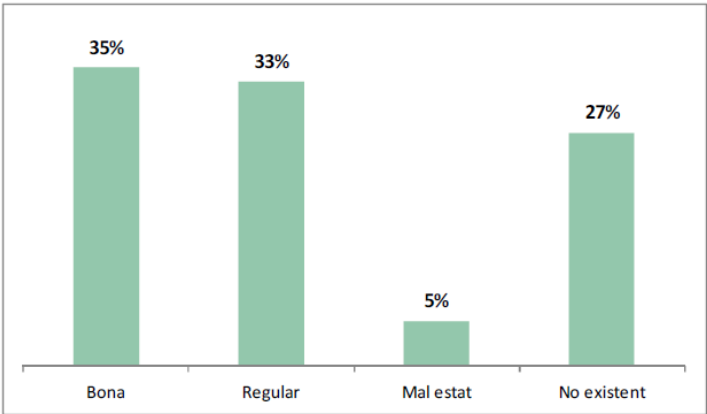


Figura 8. Estado de la señalización de los P&R de las estaciones de Rode Rodalies. Fuente: (ATM, 2013)

2.5.2.4. Accesibilidad PMR en los aparcamientos disuasorios de la RMB

Según la orden VIV/56172010 que desarrolla las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de los accesos y utilización de los espacios públicos urbanizados, se establece que debe haber un mínimo de una plaza reservada para Personas de Movilidad Reducida (PMR) por cada 40 existentes o un ratio de 2.5%. Según el estudio realizado por ATM “*Impuls dels Park and Rides a les estacions de Rodalies de Catalunya*” se han contabilizado 238 plazas de las 13.194 ofertadas, es decir un 1.8%, lo cual se encuentra por debajo del mínimo establecido por la ley. Además, un 33% de los aparcamientos estudiados no dispone de ninguna plaza reservada para las PMR.

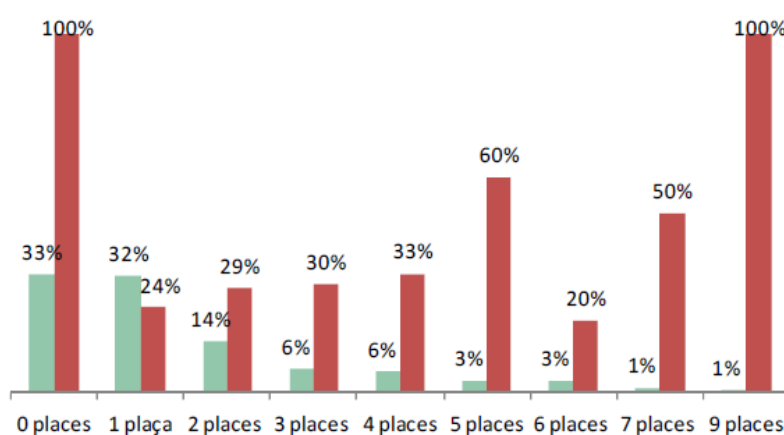


Figura 9. En verde el % de plazas reservadas para PMR y en rojo el % de aparcamientos que no cumplen con la normativa PMR.

3. Principales características de la bicicleta eléctrica

La bicicleta eléctrica es un vehículo eléctrico compuesto por una bicicleta con un motor eléctrico que ayuda al movimiento. La energía necesaria se suministra a través de una batería que se recarga en la red eléctrica.

Según la Directiva Europea 2002/24/CE tienen la consideración de bicicletas a efectos de circulación, siempre que:

- Sólo proporcionen asistencia mientras se pedalea. Pueden tener acelerador siempre y cuando este sólo sea efectivo cuando se pedalee.
- El motor se desconecta a partir de 25 km/h.
- Su potencia no sea superior a 250 W

Al resto de las bicicletas eléctricas se las considera ciclomotores eléctricos, y requieren licencia de conducción y seguro específico de accidentes.

Hoy en día, son muchas las ciudades en las que se está empezando a implantar redes de bicicletas compartidas. Además, en las ciudades con orografías que presentan pendientes elevadas, se están implantando redes de bicicletas eléctricas compartidas, como es el caso del Bicing eléctrico en Barcelona o el BiciMad de Madrid.

La bicicleta eléctrica es una opción muy eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Es una manera económica y ecológica de desplazarse por la ciudad que además ofrece mucha estabilidad y fiabilidad en términos de tiempos de trayecto.

3.1. Ventajas e inconvenientes de la bicicleta eléctrica

En la siguiente tabla comparativa se muestran las ventajas e inconvenientes de la bicicleta eléctrica respecto a la convencional.

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de la bicicleta eléctrica respecto a la convencional

Ventajas	Inconvenientes
Autonomía de viaje: ofrecen la posibilidad de pedaleo asistido para superar pendientes elevadas.	Coste: Tienen un coste mucho más elevado que oscila entre los 500-3000€.
Menor esfuerzo: permite salvar las pendientes elevadas sin que suponga un sobre esfuerzo excesivo.	Mantenimiento: las baterías eléctricas requieren recargas periódicas y tienen condiciones específicas de conservación.
Eficiencia: se alcanzan velocidades más elevadas.	Peso: Las bicicletas eléctricas tienen un peso superior.

Además, la bicicleta eléctrica es un medio de transporte ecológico que tiene grandes ventajas respecto a los desplazamientos en vehículo privado (automóvil o motocicleta):

- **Economía:** El coste energético es de tan sólo 0.20€ cada 100km (Biobike, 2016). Tampoco tienen gastos o impuestos de circulación.
- **Más seguridad:** Al circular a una velocidad inferior se disminuye los riesgos de accidente.
- **Evita congestiones:** Permite un desplazamiento fluido sin congestiones. Además actualmente se están construyendo muchos carriles bici, ofreciendo a los ciclistas una vía propia y segregada.
- **Ecológica:** El impacto ecológico de la bicicleta eléctrica es muy reducido.
- **Facilidad de uso y conducción:** No hay necesidad de obtener un permiso de circulación específico y la manejabilidad de la bicicleta es mucho mayor que la del vehículo privado.

3.2. Nuevos modelos de bicicletas eléctricas compartidas

3.2.1. Sistemas de bicicletas compartidas convencionales

El transporte urbano basado en el uso compartido de la bicicleta es un servicio sencillo, práctico y sostenible para realizar desplazamientos en las ciudades.

Son sistemas de alquiler o préstamo gratuito de bicicletas en los núcleos urbanos, impulsados generalmente por la administración pública. Debido a estas características, los sistemas de

bicicletas compartidas se pueden considerar como un modo más de transporte público, con la particularidad de que brinda una oferta muy flexible para los trayectos dentro de la ciudad.

Existen varios tipos de sistemas de bicicletas compartidas, aunque hoy en día el más utilizado es el automático. Se trata de los sistemas más flexibles en cuanto a operación, localización y aplicación de tarifas. En los sistemas automáticos no hace falta personal de atención al público para disponer de la bicicleta o devolverla sino que, o bien el punto-bici está automatizado, o bien lo está la bicicleta. De modo que, para operar, se puede hacer mediante una tarjeta o un código de usuario. Estos sistemas pueden ser gestionados por administraciones, compañías de publicidad en el mobiliario urbano o por operadores de transporte público.

La implantación de un sistema automático de bicicletas compartidas ofrece, según la Guía metodológica para la Implantación de Sistemas de Bicicletas Públicas en España (2007), los siguientes beneficios:

- Permite disponer de una nueva opción de transporte urbano rápido, flexible y práctico.
- Se adecua a las necesidades de muchos usuarios y satisface una amplia tipología de desplazamientos.
- Su coste global es menor comparado con otros medios de transporte público.
- En ciudades con poca cultura de la bicicleta puede convertirse en un catalizador para hacer que el uso de la bicicleta sea aceptado como un medio de transporte habitual.
- Es una medida eficaz para promocionar el uso de la bicicleta en la ciudad como un medio de transporte cotidiano, siempre que se apliquen medidas complementarias que contribuyan a la seguridad y comodidad del ciclista.
- En algunos casos puede contribuir al uso del transporte público en los desplazamientos multimodales interurbanos, al permitir que éstos se realicen de forma óptima gracias a la complementariedad del trayecto en bicicleta. Este beneficio es una de los factores clave que se tratará más adelante en el presente estudio.
- Favorece la intermodalidad mediante la integración de sistemas de bicicletas públicas en el sistema de transporte público. Esta intermodalidad se optimiza con las tarjetas que integran los diversos servicios de movilidad.
- Optimización del uso del espacio público. Por ejemplo, en Lyon, 5 aparcamientos de bicicletas públicas (15 usuarios/día de media) sustituyen a una plaza de aparcamiento de coche (6 usuarios/día de media).

3.2.2. Bicing eléctrico

El Bicing eléctrico mejora y complementa la eficiencia del servicio Bicing, que es el transporte urbano basado en el uso compartido de la bicicleta de Barcelona. El aporte de la bicicleta eléctrica facilita los viajes largos y ascendentes, debido a la orografía de la ciudad condal.

El acceso al servicio se realiza mediante el pago de una cuota anual, a parte de la cuota anual del Bicing, y un pago por trayecto (ver Tabla 6). El objetivo es poder dar un cierto valor a los viajes realizados y poder racionalizar el uso del servicio.

Tabla 6. Tarifas del Bicing eléctrico. Fuente: Bicing (2016)

Suplemento abono anual Bicing eléctrico	14€
Primeros 30 min de cada viaje	0.45€
Resto de fracciones hasta las 2 horas	0.8€
Penalización a partir de las 2h	5€/hora

La bicicleta dispone de un sensor de velocidad para que el motor se pare al llegar a 20 km/h.

Así mismo, la bicicleta eléctrica también dispone de un sistema de asistencia al arranque para poder iniciar la marcha en pendientes (por ejemplo, para salir de un aparcamiento subterráneo); esta asistencia aumenta de manera progresiva hasta llegar al límite de 6km/h sin pedaleo.

Las bicicletas del Bicing eléctrico destacan por:

- Bicicleta anti vandálica, confortable, ergonómica.
- 3 niveles de asistencia eléctrica al pedaleo y un sistema de asistencia para arrancar.
- Carga eléctrica de la bicicleta mediante el sistema de anclaje.
- Batería exclusivamente de litio de alta calidad (sin plomo) de fabricación local.
- El tiempo de recarga al 100% de la batería: 2 horas como máximo.

El servicio de Bicing eléctrico tiene 46 estaciones. De estas, 41 se encuentran en aparcamientos debidamente señalizados y de fácil acceso y las otras 5 en superficie. En la Figura 10 vemos la aplicación de Bicing con información a tiempo real de la disponibilidad de todas las bicicletas eléctricas. Además la aplicación ofrece un servicio que estima la distancia recorrida, las calorías consumidas, la velocidad media, el CO2 ahorrado y tiene un

sistema de puntos para conseguir retos. Este servicio tiene el objetivo de impulsar el uso de la bicicleta y fomentar los transportes sostenibles con el medio ambiente.

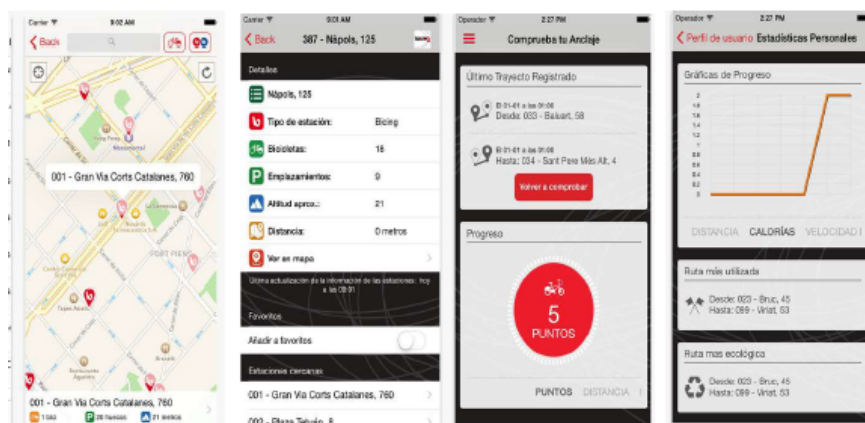


Figura 10. Aplicación de Bicing para Smartphone. Fuente: App Bicing.

3.2.3. BiciMad

BiciMad es el servicio de bicicleta compartida de la comunidad de Madrid. Se caracteriza por ser exclusivamente un servicio de bicicletas eléctricas. El sistema BiciMad se ha puesto en marcha desde mayo de 2014 y está compuesto por 2.028 bicicletas, 4.116 anclajes y 165 estaciones. La bicicleta eléctrica utilizada cuenta con una batería de litio con una autonomía de 18 horas y tienen incorporado un sistema GPS para evitar robos.

En este caso, las tarifas del servicio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Tarifas del servicio BiciMad

Abonado anual	Tarjeta ocasional
Abono anual sin abono transporte: 25 €	
Abono anual con abono transporte: 15 €	
Primera fracción de 30 minutos: 0,50 €	Primera hora o fracción: 2 €
Siguiente fracción de 30 minutos: 0,60 €	Segunda hora o fracción: 4 €
Tarifa de penalización por haber excedido las dos horas, por hora o fracción: 4 €	Tarifa de penalización por haber excedido las dos horas, por hora o fracción: 4 €

Uno de los elementos diferenciadores de este sistema es la posibilidad de reservar un anclaje libre en la estación más próxima a su destino con un coste adicional de 0,10€. Además, también se recibe una bonificación de 0,10€ por devolver la bicicleta en estación deficitaria (con menos de un 30% de ocupación) o coger la bicicleta en estación excedentaria (con más

de un 70% de ocupación). Estas medidas tienen el objetivo de mejorar la circulación y distribución homogénea de las bicicletas.

4. Aplicaciones de las nuevas tecnologías en la movilidad del ciudadano

A continuación, realizaremos un breve recorrido para ilustrar las aplicaciones que nos ofrecen las nuevas tecnologías (TIC) en el mercado de la movilidad. El uso de la tecnología actual de una manera inteligente y con un fin específico puede ser el pilar de la movilidad del siglo XXI.

4.1. T-Mobilitat

Dentro de poco cambiará radicalmente la forma en que los usuarios catalanes utilizarán el transporte público. Primero en Barcelona y más tarde en toda Catalunya se impondrá una nueva tarjeta de transporte conocida como la T-Mobilitat que funcionará de acuerdo con la movilidad real de cada ciudadano, sin necesidad de recurrir a títulos de transporte múltiples.

T-Mobilitat es un nuevo sistema de transporte que permitirá calcular el precio del transporte público de manera personalizada. Es decir, cada usuario pagará en función de sus rutinas de transporte, de los kilómetros recorridos y de la frecuencia con que utilice el transporte público. El sistema comenzará a funcionar en la primera corona del área de Barcelona durante el segundo semestre del 2016 y, progresivamente, lo hará en el resto de coronas hasta abarcar toda Catalunya en el 2018. (Generalitat de Catalunya, 2016).

T-Mobilitat es una tarjeta unipersonal que sustituirá gradualmente toda la gama actual de títulos de transporte. Esta simplificación afectará también el sistema actual de las zonas tarifarias, que dejará de aplicarse tal como se hace ahora. El nuevo sistema también permitirá realizar bonificaciones para los usuarios que utilicen el transporte público con más frecuencia y bajar precios para desincentivar el uso de vehículos privados en caso de episodios de contaminación atmosférica.

Además también se plantea que la T-Mobilitat vaya integrada con el teléfono mediante la tecnología NFC, pudiendo ser este un medio de información a tiempo real o un medio de acceso al transporte público.

Finalmente destacar que el sistema de billete inteligente aportará mucha información a los operadores sobre la movilidad de sus usuarios, lo cual permitirá planificar un sistema de transporte público más eficiente.

4.2. Aplicaciones y webs de información

Las aplicaciones y webs de información las podemos dividir en dos categorías, las públicas y las privadas.

4.2.1. Aplicaciones Públicas

Estas pertenecen a las administraciones públicas y tienen la ventaja de que normalmente poseen información a tiempo de real de los servicios de transporte, pudiendo informar de posibles incidencias. Generalmente están financiadas con dinero público. A continuación veremos diversos ejemplos que ilustran el paradigma actual de las aplicaciones de las nuevas tecnologías

4.2.1.1. *Transport for London*

Transport for London es una de las aplicaciones web de planificación de viajes que está más avanzada hoy en día, puesto que tiene integrado todos los modos de transporte posibles. En la Figura 11 podemos ver todos los modos de transporte que tiene integrados:

The screenshot displays the 'Transport for London' journey planner interface. At the top, there are three tabs: 'Public transport', 'Cycling', and 'Walking'. Below these, the 'Travel by' section lists various transport modes with checkboxes: Bus, National Rail, London Overground, River Bus, Emirates Air Line, Tube, DLR, TfL Rail, Tram, and Coach. All checkboxes are checked. To the right of this list are links for 'select all' and 'deselect all'. Below the 'Travel by' section, there are two columns of options. The left column, titled 'Show me', includes 'The fastest routes', 'Routes with fewest changes', and 'Routes with least walking' (which is selected). The right column, titled 'Access options', includes 'No accessibility requirement' (selected), 'Use escalators, not stairs', 'Use stairs, not escalators', 'Step-free to platform only', and 'Full step-free access'. At the bottom, there are two sections: 'Preferences' with a dropdown for 'I only want to walk for a maximum of' set to '40 mins', and 'My walking speed is' set to 'Average'.

Figura 11. Planificador de viajes de la aplicación web de *Transport for London*

En esta aplicación destacan dos aspectos que resultarán muy interesantes para la aplicación del modelo de este trabajo:

- En el planificador de viaje se puede introducir preferencias personales de viaje, como por ejemplo el tiempo máximo que se quiere caminar, si el usuario es PMR, si se desea tomar el vehículo privado, etc.

- Se puede incluir en el planificador de viaje el alquiler de una bicicleta compartida.

Por lo tanto, vemos que ya existen aplicaciones que están muy desarrollados en aspectos de intermodalidad con un gran número de modos de transporte.

4.2.1.2. MOU-TE

El Mou-te (Muévete con transporte público por Catalunya) es el buscador de rutas promovido por la Generalitat de Catalunya con la voluntad de ir integrando toda la oferta de transporte público que opera dentro del territorio catalán. Los datos que integran este sistema de información los aportan los diferentes organismos titulares de los servicios públicos de transportes y los operadores del sistema.

El buscador ofrece diversas rutas de transporte multimodales en función de los criterios especificados de búsqueda, considerando tanto el transporte público urbano como el interurbano y los tramos a realizar a pie tanto para llegar al punto más próximo de transporte público como para efectuar los intercambios entre los modos de transporte.

Permite obtener la información actualizada de los horarios, las líneas de transporte, las incidencias o las afectaciones al servicio.

Uno de los servicios innovadores es que permite la opción de incluir el coche como modo de transporte al inicio o al final del viaje. Así, por ejemplo, un usuario que vive en una urbanización de la región metropolitana, puede calcular el tiempo de viaje cogiendo el coche hasta un P&R donde accederá al servicio de transporte público. En la Figura 12 vemos un ejemplo de la aplicación web que recomienda como itinerario de viaje tomar el coche hasta la estación de tren de Rodalies.

En un futuro está previsto que MOU-TE integre también como modo de transporte la bicicleta.

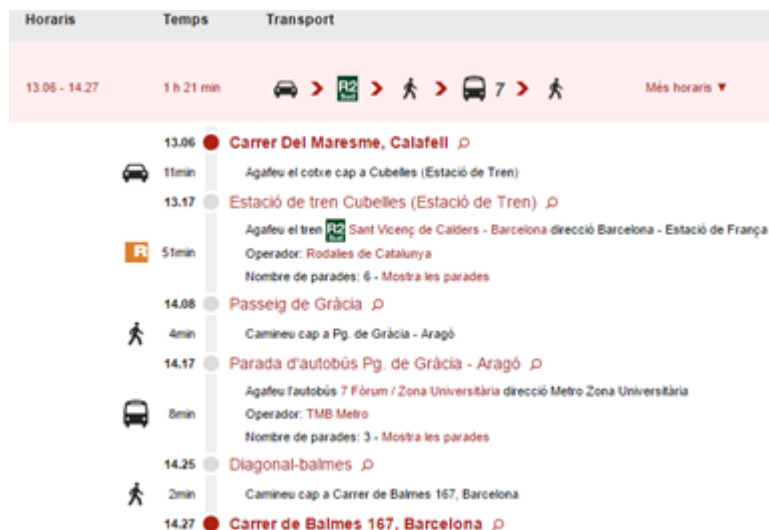


Figura 12. Ejemplo de un trayecto Calafell-Barceloneta en la aplicación web de MOU-TE

4.2.1.3. Aplicación FGC

La aplicación de los Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya permite conocer el horario y el itinerario de los trayectos, los precios de los billetes, consultar la red y las estaciones de FGC y saber en tiempo real las incidencias que afectan al servicio.

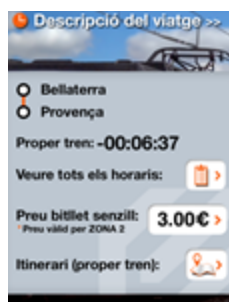


Figura 13. Captura de pantalla de la aplicación de FGC.

Además, la aplicación está dotada de un sistema de localización que te da la posibilidad de saber cuál es la estación de FGC más cercana.

4.2.2. Aplicaciones Privadas

Hoy en día se están multiplicando las empresas privadas que ofrecen aplicaciones movilidad. Google es una de las grandes empresas que ofrece una aplicación muy completa y precisa para la planificación de viaje, ofreciendo incluso información a tiempo real del tráfico. También existen multitud de nuevas empresas que ofrecen otros servicios de planificación de viajes como Moovit, Myway, CityMapper, etc. Uno de los problemas actuales de las empresas privadas es que no tienen información a tiempo real de los servicios de los

diferentes operadores de transporte. Esto se debe a que las informaciones a tiempo real todavía no están en “Open Data”, es decir, como datos abiertos accesibles a todo el mundo a través de la web. Para paliar este defecto, las aplicaciones privadas tienen un “*Life Community*”, es decir, usuarios proactivos que informan a tiempo real de las incidencias por la aplicación. Una de las preguntas que nos podríamos hacer es como recaudan dinero estas empresas; hoy en día viven de la venta de los datos de movilidad de los usuarios que la utilizan.

4.2.2.1. Google

Una de las ventajas tecnológicas de Google, que ha sido uno de los pioneros en las aplicaciones de planificación de viajes, es que controlan a tiempo real el tráfico de las carreteras y calles importantes. De ésta manera, permiten ver al usuario los puntos de conflicto de congestión en las ciudad y evitarlos. Incluso, en las rutas de viaje que calculan se evita si son necesario las vías congestionadas.

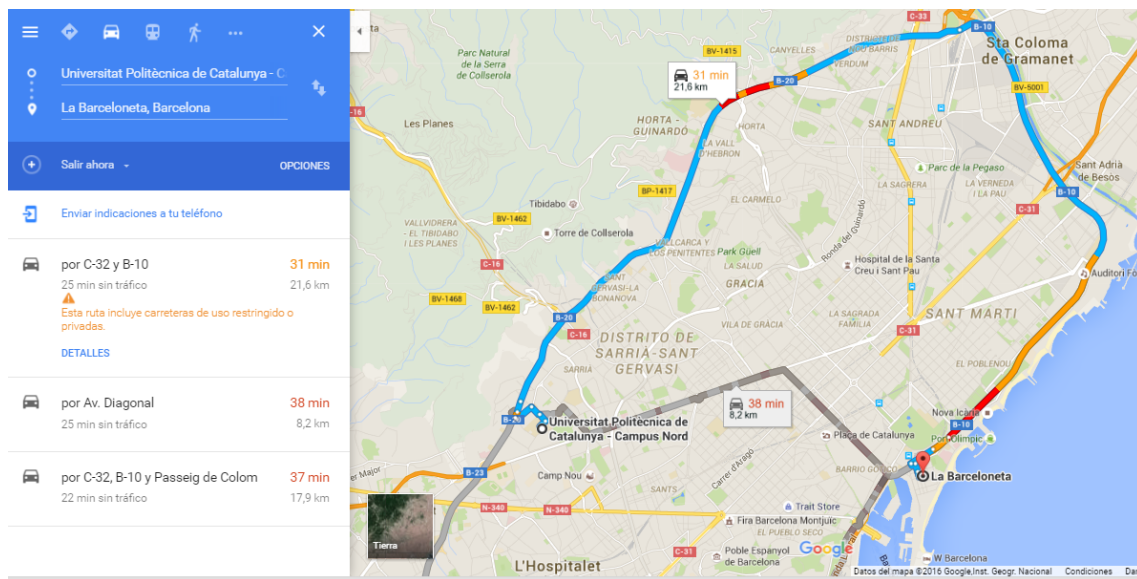


Figura 14. Aplicación de planificación de viajes de Google Maps. Fuente: Google.

En la Figura 14 vemos como aparecen en rojo los tramos de congestión elevada y en naranja los medios, mientras que en azul se muestran los tramos con tráfico fluido. En este caso de viaje entre la Zona universitario y la Barceloneta, vemos como Google Maps nos ofrece como mejor alternativa utilizar las Rondas de Barcelona, aunque la distancia recorrida sea muy superior. En efecto, la ruta más eficiente es de 26km mientras que la más corta por el centro de la ciudad es de 8km.

4.2.2.2. Moovit

Moovit, es una aplicación para dispositivos móviles que te permite planificar trayectos en transporte público de una manera inteligente. Una de las ventajas de este servicio, es que hay información actualizada de las líneas y alertas sobre incidencias que puedan afectar en el recorrido programado. Esto es posible gracias a una activa comunidad de usuarios que comparten datos en tiempo real.

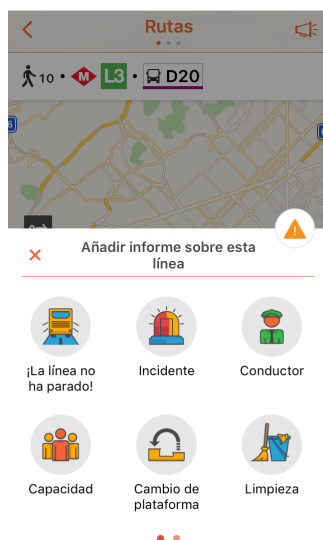


Figura 15. Ejemplo de señalización de incidencias en la app de Moovit.

4.2.2.3. Myway

Myway es otra aplicación para dispositivos móviles que planifica trayectos. La innovación de esta app es que sus usuarios pueden personalizarla, añadiendo sus preferencias de viaje. Además, otra innovación importante que presenta esta aplicación es que ofrece itinerarios incorporando la multimodalidad con sistemas de bicicleta compartida. En la Figura 16 podemos ver todas las modalidades de configuración de la aplicación:

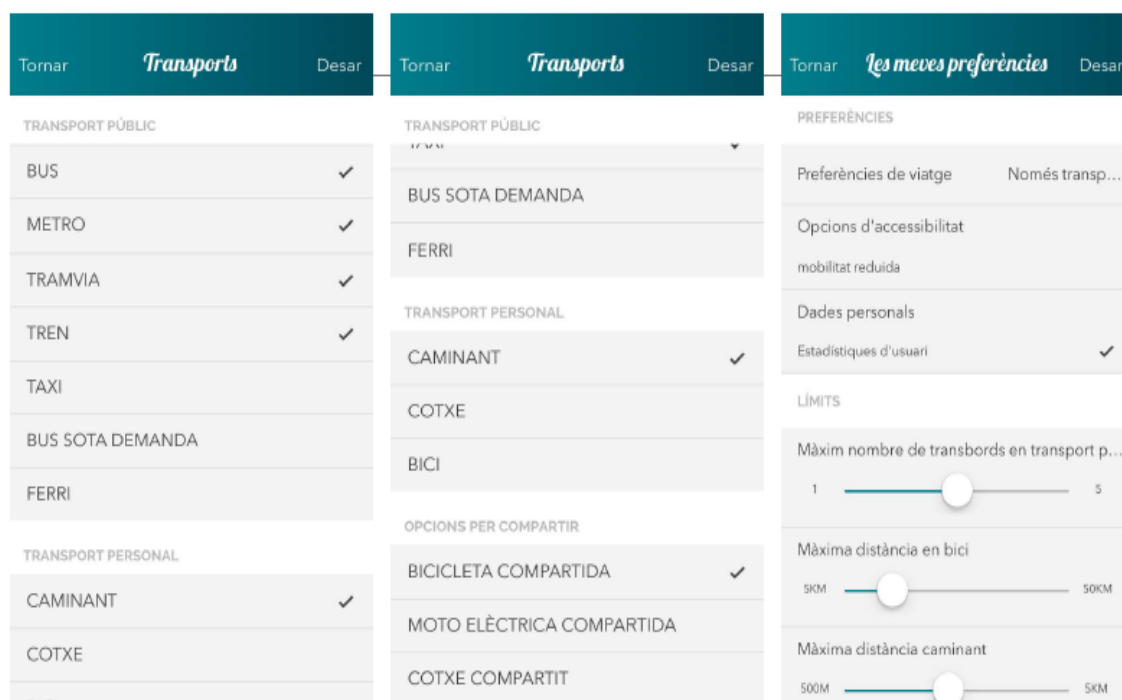


Figura 16. Configuración posible de la aplicación Myway. Fuente: App Myway (2016)

Finalmente también destacar que posee una función que realiza un rastreo de tu viaje y te replanifica el viaje en caso de ser necesario por alguna incidencia detectada.

4.3. Ecooltra

Ecooltra es una empresa privada que ofrece un nuevo servicio de motocicletas eléctricas compartidas en Barcelona. Es un nuevo concepto de movilidad como servicio que complementa el transporte público y trata de sustituir el transporte privado de forma eficaz, aliviando la contaminación medioambiental y promoviendo un tráfico sostenible. Es un sistema similar al de las bicicletas eléctricas compartidas, solo que no hay estaciones donde dejar los vehículos, el usuario elige donde dejarlos en una zona delimitada del área metropolitana.

El sistema está basado en una *free float*, o lo que es lo mismo, recoger y dejar la moto eléctrica donde el usuario quiera. El consumidor se convierte en propietario por minutos de una moto eléctrica, desde que la reserva hasta el momento en que la aparca, al finalizar su desplazamiento.

Estas motos solo se pueden utilizar si se tiene un permiso de circulación de ciclomotor y una de las ventajas es que se activa el vehículo a través de la aplicación. También se abre a través

del dispositivo móvil un compartimento en donde se encuentran los cascos necesarios para circular. El seguro, mantenimiento y energía está gestionado por la empresa.

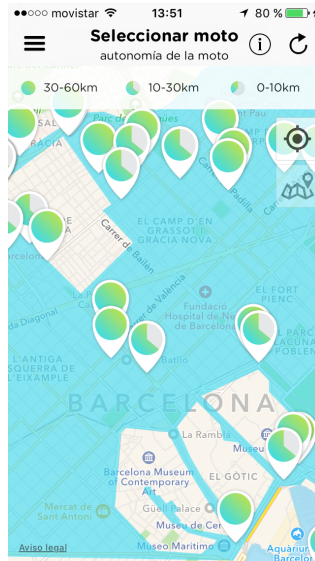


Figura 17 Aplicación de Ecootra para dispositivos móviles. La zona azul es donde se puede tomar y dejar motocicletas.

Como bien hemos podido contemplar existen una gran variedad de aplicaciones que permiten planificar rutas de viaje de manera muy eficiente e inteligente. Las TIC están cambiando el paradigma de la movilidad de las personas, puesto que un ciudadano es capaz de saber cuál es la ruta de viaje más óptima en cada instante haciendo una simple consulta a través de su Smartphone.

No obstante, todavía queda mucho camino por recorrer y desde mi punto de vista los esfuerzos se tienen que concentrar en la creación de una aplicación que sea capaz de recoger la información a tiempo real de todos los operadores públicos y privados de transporte. En el capítulo 7 veremos como la Unión Europea está empezando a promover este tipo de proyectos.

5. Análisis de la movilidad en la Región Metropolitana de Barcelona de Barcelona

5.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio comprende el marco territorial de la Región Metropolitana de Barcelona (RMB), formada por las siguientes siete comarcas:

Tabla 8. Datos de la Región Metropolitana de Barcelona. Fuente: Idescat (2015)

Comarca	Número de Municipios	Superficie [km2]	Habitantes	Densidad [hab/km2]
Barcelonès	5	145.8	2 225 144	15 262
Alt Penedès	27	592.7	106 168	179
Baix Llobregat	30	486	806 651	1 660
Garraf	6	185.1	145 983	789
Maresme	30	398.5	439 512	1 103
Vallès Occidental	23	583.1	900 661	1 545
Vallès Oriental	39	851	400 375	470
Total RMB	160	3242.2	5 024 494	21 007

Analizando la Tabla 8 podemos ver como las comarcas con más población y por lo tanto las más generadoras de viajes son las del Barcelonès, Baix Llobregat i el Vallès Occidental.

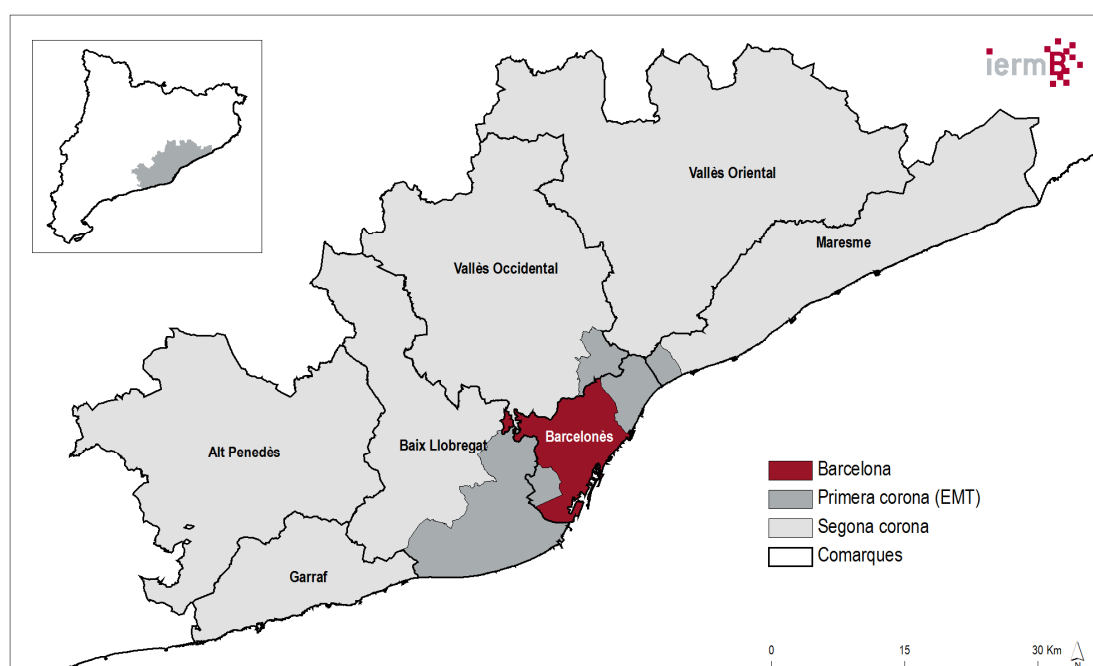


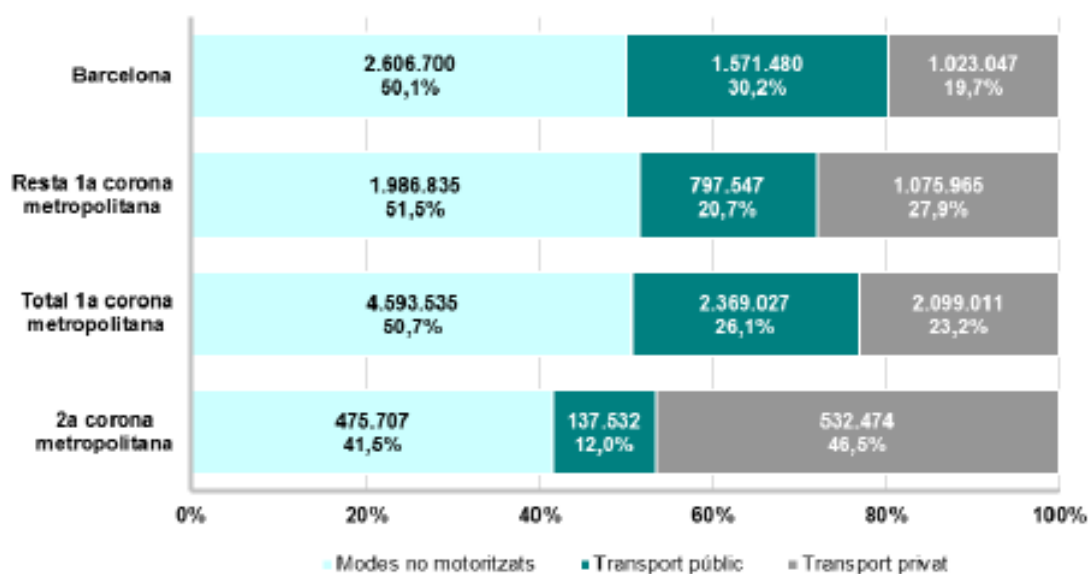
Figura 18. Comarcas y coronas de la Región Metropolitana de Barcelona. Fuente (Iermb).

En la Figura 18 apreciamos el territorio que abarca la RMB, así como la delimitación de las diferentes coronas, a las cuales nos referiremos para analizar la movilidad actual.

5.2. Movilidad en la RMB

La cuota modal en la movilidad diaria de los residentes del Área Metropolitana de Barcelona presenta diferencias en función de la corona. Analizando la “Enquesta de mobilitat en dia feiner 2014” EMEF 2014 podemos extraer las siguientes conclusiones:

- Los residentes de Barcelona ciudad hacen mayor uso del transporte público y menor del transporte privado.
- Tanto los residentes de la primera corona como los de Barcelona, utilizan modos no motorizados en más de la mitad de los desplazamientos diarios.
- Los residentes de la 2ª corona metropolitana realizan los desplazamientos diarios principalmente en vehículo privado, englobando un 46.5% de la movilidad.



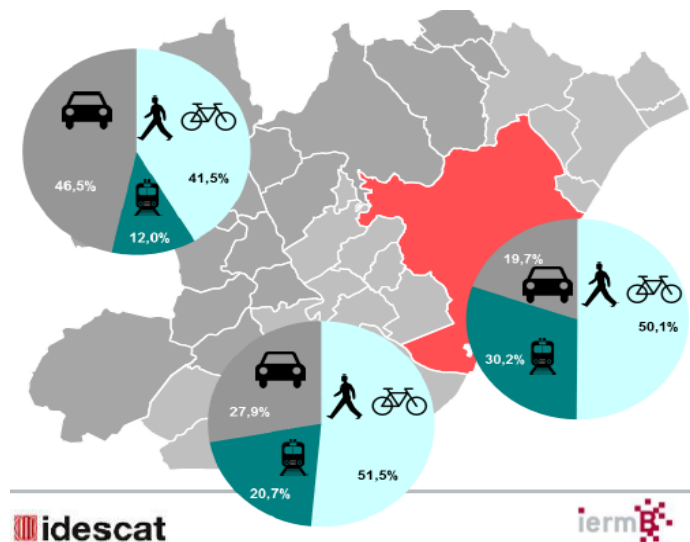


Figura 19. Arriba: Desplazamientos en los diferentes modos de transporte en cada uno de las coronas de la RMB. Abajo: Esquema gráfico del reparto modal de transportes. Fuente: EMEF 2014.

5.3. Oferta actual de transporte

5.3.1. Red viaria

La configuración de la red viaria de acceso a Barcelona tiene sus complicaciones debido a las limitaciones y barreras geográficas de la ciudad.



Figura 20. Red de carreteras de acceso a la ciudad de Barcelona. Fuente (Google Maps)

En la Tabla 9 se presenta las principales vías de conexión extraurbanas que conectan la Región Metropolitana con la ciudad de Barcelona. En ella también se especifican los municipios a los que conectan, así como la vía urbana en la que desembocan para entrar en el área metropolitana.

Tabla 9. Principales accesos viarios a la ciudad de Barcelona. Elaboración propia.

Vía urbana	Principales vías de conexión extraurbana	Conexión con la RMB
Gran Vía Norte	C-31, C-32, N-II	Maresme, Badalona, Sant Adrià del Besòs
Meridiana	C-33 (A-7, C-17) , C-58	Vallès Oriental, Vallès Occidental
Vía Augusta	C-16	Vallès Occidental
Av. Diagonal	A-2 ,N-II	Baix Llobregat (N-II), Alt Penedès (A-7)
Gran Vía Sud	C-31, C-32	Hospitalet del Llobregat, Baix Llobregat, Garraf

De manera esquemática, podemos ilustrar los accesos por carretera a la ciudad de Barcelona de la siguiente manera:

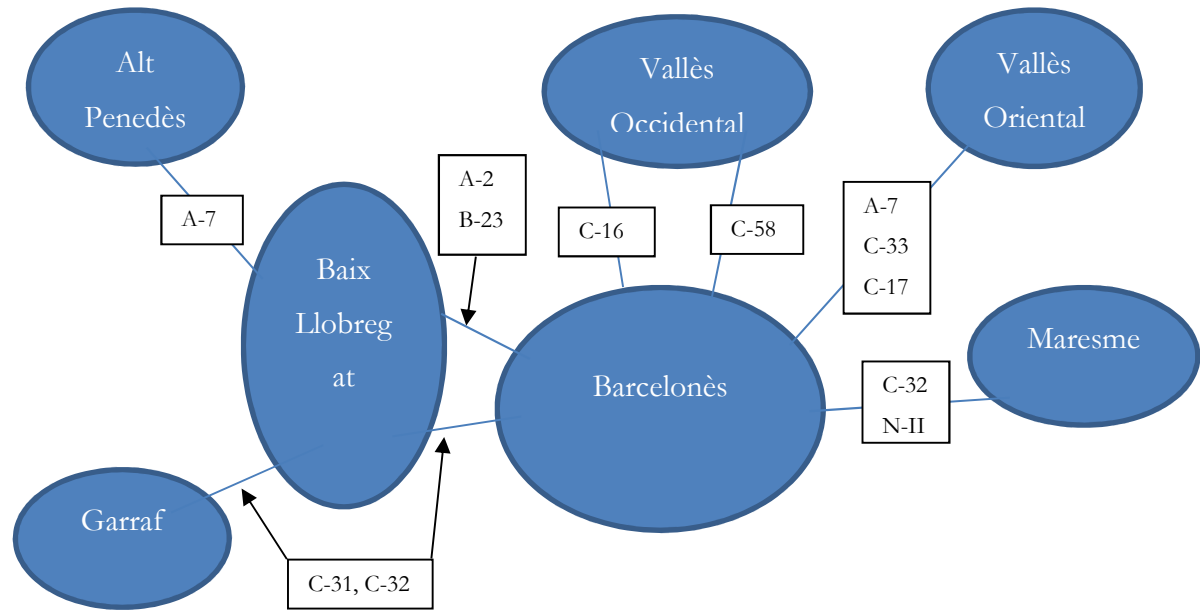


Figura 21. Representación esquemática de los accesos viarios a Barcelona desde las diferentes comarcas

En la Figura 21 no aparecen las rondas urbanas B-10 (Ronda litoral) y B-20 (Ronda de Dalt) que actúan principalmente como distribuidores de circunvalación urbanos entre los

diferentes accesos. No obstante, también actúan, aunque no con menor importancia, como ejes de tránsito urbano o de paso extraurbano.




5.3.2. Red ferroviaria

Los siguientes operadores ofrecen transporte ferroviario en la Región Metropolitana de Barcelona: Renfe, Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya y Metro. En los Anejos podemos ver Red ferroviaria integrada con los transportes ferroviarios de todos los operadores.

5.3.2.1. Rodalies de Catalunya

Rodalies de Catalunya (antiguamente conocido como Cercanías Barcelona o Rodalies Barcelona) es una marca comercial usada por la Generalitat de Catalunya y Renfe Operadora para los servicios ferroviarios de cercanías que fueron traspasados por el Ministerio de Fomento de España a la Generalitat a partir del 1 de enero de 2010. Esta red ferroviaria está formada por las siguientes ocho líneas:

Tabla 10 Trayecto de las líneas de Rodalies con sus conexiones y paradas principales en Barcelona. Fuente: Elaboración propia.

Línea	Origen- Destino	Vía	Principales estaciones en Barcelona	Conexión de Barcelona con la RMB
	Molins de Rei – Maçanet/Massanes	por Mataró	Clot-Aragó Arc de Triomf Pl. Catalunya Sants	Maresme Barcelona Hospitalet del Llob. Baix Llobregat
	Castelldefels-Granollers Centro		Clot-Aragó Passeig de Gràcia Sants	Vallès Oriental Barcelona Baix Llobregat Garraf
	Aeropuerto – Maçanet/Massanes	por Granollers Centro	La Sagrera-Meridiana Arc de Triomf Pl. Catalunya Sants	Vallès Oriental Barcelona Baix Llobregat
	San Vicenç de Calders - Estación de Francia	por Vilanova y Geltrú	Estación de Francia Paseo de Gracia Sants	Barcelona Baix Llobregat Garraf
	Hospitalet de Llobregat - Latour de Carol /Enveitg	por Vic	La Sagrera-Meridiana Arc de Triomf Pl. Catalunya Sants	Vallès Oriental Barcelona Hospitalet del Llobregat

Línea	Origen- Destino	Vía	Principales estaciones en Barcelona	Conexión de Barcelona con la RMB
R4	San Vicente de Calders- Manresa	por Villafranca del Penedès	La Sagrera-Meridiana Arc de Triomf Pl. Catalunya Sants	Valleès Occidental Barcelona Hospitalet del Llobregat Baix Llobregat Alt Penedès
R7	Cerdanyola Universitat - San Andrés Arenal			
R8	Martorell - Granollers Centro	por Cerdanyola-Universitat		

De manera más simplificada, en la Figura 22 podemos apreciar el recorrido y las paradas de todas las líneas de Rodalies:

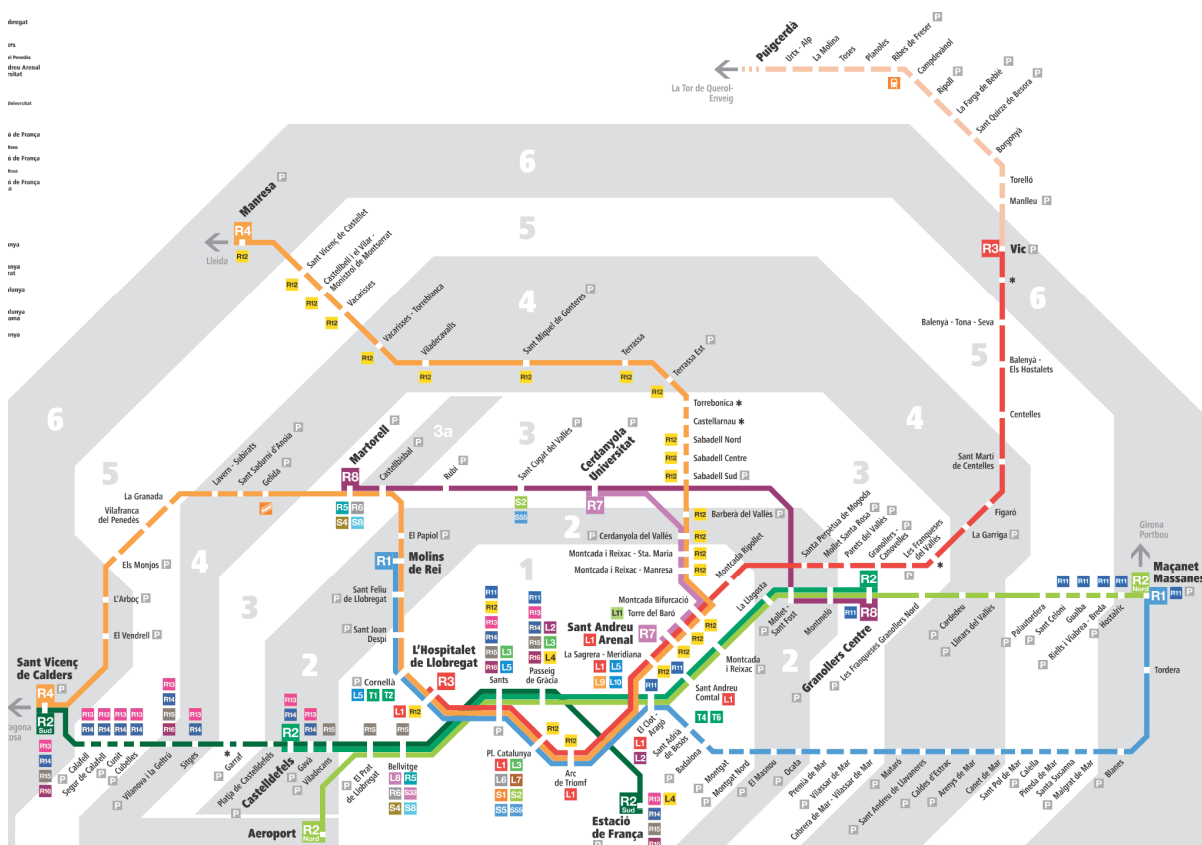


Figura 22. Mapa de la red ferroviaria de Rodalies. Fuente: Rodalies de Catalunya.

A continuación presentaremos las características básicas de explotación de las líneas R1, R2, R3 y R4 puesto que pasan por el área metropolitana de Barcelona.

Tabla 11. Características de las líneas de Rodalies que conectan Barcelona con la RMB.
Fuente: (Rodalies)

Línea	Longitud [km]	Viajeros/día	Número de circulaciones diarias	Frecuencia en HP	Frecuencia en hora valle	Velocidad comercial [km/h]
R1	95.1	102.214	216	6 min	10 min	45
R2	130.7	125.948	216	10 min	15-30 min	47
R3	77 (hasta Vic)	22.841	76	20 min	30 min	56
R4	143	105.935	162	8 min	15 min	46

Las frecuencias de la R1 a las que hace referencia la Tabla 11 corresponden al tramo central de la línea en el cuál la demanda es mayor. Concretamente se trata del tramo Molins de Rei - l'Hospitalet de Llobregat – Mataró.

Las frecuencias referidas a la R2 Tabla 11 corresponden a las del tramo Castelldefels - Granollers Centro, viéndose reducidas a 6 minutos en ciertos puntos del tramo central. Las frecuencias de la R2, R2 Nord y R2 Sud se superponen para resultar en mayores frecuencias en los tramos comunes de los diferentes ejes:

- La R2 Sud une Sant Vicenç de Calders con Barcelona (Estació de França).
- La R2 Nord une el Aeropuerto del Prat con Maçanet-Massanes por Granollers.
- La R2 une Castelldefels con Granollers Centro.

La R3 es una línea Norte-Sur que comunica el área de Barcelona con el Pirineo. El trayecto se inicia en Hospitalet de Llobregat y después de cubrir el centro de la ciudad y las poblaciones del Vallès Occidental y Oriental, se dirige hacia el Pirineo. Hoy en día la línea aún conserva muchas características de su trazado original, como las secciones de vía única a partir de Montcada, lo que provoca que las frecuencias de paso se reduzcan considerablemente. No obstante, el proyecto del desdoblamiento hasta Vic está en fase de realización. En la Tabla 11 las frecuencias de paso definidas para la R3 corresponden al tramo L'Hospitalet-Granollers, que es el que nos interesa analizar.

La R4 de Cercanías tiene un recorrido que se inicia en Manresa, pasa por Terrassa y Sabadell, Sant Sadurní d'Anoia, Vilafranca del Penedès y el Vendrell, para finalizar en Sant Vicenç de Calders. Es la línea más larga de la red de cercanías con un total de 143 km. El tramo al que se refieren las frecuencias de paso en hora punta es el de Terrasa-Martorell, la parte central de la línea.

5.3.2.2. Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC)

Las líneas de trenes del servicio suburbano de FGC funcionan a la vez como metro complementando los servicios de Metro de Barcelona y como tren de cercanías que conecta la ciudad con el Vallès Oriental. Funciona como un servicio de metro en la ciudad, pero a medida que se aleja del centro disminuye la frecuencia. Este servicio, que es de tarificación integrada, tiene la siguiente nomenclatura:

- **L** corresponde a las líneas que funcionan como parte de la red de metro de Barcelona.
- **S** corresponde a las líneas que operan desde Barcelona hasta las zonas 2 y 3 designadas por l'Autoritat del Transport Metropolità (ATM).
- **R** (de Rodalies) corresponde a las líneas interurbanas que sobrepasan la zona 3 del sistema de ATM. Como hemos visto anteriormente de la R1, R2, R3, R4, R7 y la R8 son operadas por Renfe Operadora, mientras que la R5, R6, R50 y la R60 por FGC.

Tabla 12 Líneas de los Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya

Servicio	Inicio	Fin
Servicios metropolitanos		
L6	BCN - Pl. Catalunya	Reina Elisenda
L7	BCN - Pl. Catalunya	Av. Tibidabo
L8	BCN - Pl. España	Molí Nou Ciutat Cooperativa
Línea Barcelona-Vallès		
S1	BCN - Pl. Catalunya	Terrassa Nacions Unides
S2	BCN - Pl. Catalunya	Sabadell Rambla
S5	BCN - Pl. Catalunya	Rubí
S55	BCN - Pl. Catalunya	Universitat Autònoma
Línea Llobregat-Anoia		
S33	BCN - Pl. España	Can Ros
S4	BCN - Pl. España	Olesa de Montserrat
S8	BCN - Pl. España	Martorell
R5	BCN - Pl. España	Manresa
R6	BCN - Pl. España	Igualada

Línea Barcelona-Vallès

La Línea Barcelona-Vallès es una línea de los FGC que conecta Barcelona con el Vallès Occidental atravesando la sierra de Collserola. La terminal barcelonesa se encuentra en la céntrica plaza de Catalunya y en su recorrido hasta Terrasa y Sabadell se bifurca tres veces.

FGC opera la línea con 6 servicios: dos servicios de metro dentro del municipio de Barcelona y cuatro servicios suburbanos. Además de la denominación de Línea Barcelona-Vallès, FGC utiliza el nombre de metro del Vallès para referirse a los servicios S1, S2, S5, S55, L6, L7 y el funicular de Vallvidrera.

Tabla 13 Características de las líneas del Vallès en función de los trayectos realizados.
Fuente: (ATM, Anàlisi del sistema ferroviari de l'RMB, 2012)

Feiners Trajecte	hora punt	Interval mitjà bàsic	hora vall	Temps viatge	Nombre ascendent	trens/dia 2010 descendent	Nombre ascendent	trens/dia 2009 descendent
Servei urbà ⁽¹⁾								
Pl. Catalunya - Gràcia	1'53"	2'	2'30"	4'30"	479 ⁽²⁾	472	475	472
Pl. Catalunya - Sarrià	2'44"	3'	3'45"	11'30"	325 ⁽³⁾	318	321	318
Pl. Catalunya- R. Elisenda	6' ⁽⁴⁾	6'	7'30"	14'30"	114+39 ⁽⁴⁾	115+39	112+39	115+37
Pl. Catalunya- Av. Tibidabo	6'	6'	7'30"	9'30"	154	154	154	154
Metro del Vallès								
Pl. Catalunya - St. Cugat	2'44"	6'	7'30"	25'	209 ⁽⁵⁾	203	209	202
Pl. Catalunya - Rubí	5'30"	12'	15'	32'	100	98	99	97
Pl. Catalunya- Terrassa/Rbla.	10' ⁽⁶⁾	12'	15'	41'	81	81	81	82
Pl. Catalunya - U. Autònoma	5'30"	12'	15'	35'	108	103	107	103
Pl. Catalunya- Sabadell/Rbla	10'	12'	15'	42'	82	79	82	80
Font: FGC, 2012.								
Notes:								
(1) Entre parèntesi temps emprat pels trens S1 i S2.								
(2) 154 trens L7 + 114 trens L6 + 209 trens S1, S2, S5, S55 i 2 escolars.								
(3) 114 trens L6 + 209 trens S1, S2, S5, S55 i 2 escolars.								
(4) Entre les 7:20h i les 8:45h només llançadores Sarrià - Reina Elisenda, S5 i S55 entre Pl. Catalunya-Sarrià. Entre les 8:45h i les 9:20, i entre 16:56h i 19:29h alternant trens L6 i llançadores Sarrià-Reina Elisenda.								
(5) 163 trens S1 i S2 + 18 trens S5 + 26 trens S55 i 2 escolars.								
(6) 5'30" en sentit descendent i 10' en sentit ascendent.								

Consideramos una velocidad comercial media en hora punta de 40 km/h para la línea del Vallès de los FGC, calculada a partir de los tiempos de viaje y las distancias recorridas por cada línea.



Figura 23. Trayecto esquematizado de las líneas del Vallès. Fuente: FGC.

Línea del Llobregat-Anoia

La Línea Llobregat-Anoia es una línea de Ferrocarriles de la Generalidad de Cataluña que conecta Barcelona, el Baix Llobregat, Anoia y el Bages. Por esta línea discurren 8 servicios: uno de metro, tres de suburbanos y cuatro de cercanías. El origen de todas las líneas es Plaza España, situada en el centro de Barcelona.

Tabla 14. Características de las líneas del Llobregat-Anoia en función de los trayectos realizados. Fuente: (ATM, Anàlisi del sistema ferroviari de l’RMB, 2012)

	Interval mitjà bàsic (descendent)			Temps de viatge	
	punta	intermèdia	vall	descendent	
	arrib. PE 8.00-9.00	arrib. PE 18.00-19.00	arrib. PE 12.00-13.00	min.	línia
Pl. Espanya – Sant Boi	4.00	4.15	10.00	18	R50/R60
Pl. Espanya – Molí Nou	4.35	4.15	10.00	21	L8-S33-S8-S4-R5-R6
Pl. Espanya – Can Ros	6.00	6.00	12.00	27	R5
Pl. Espanya –St. Andreu B.	7.30	7.30	20.00	32	R50
Pl. Espanya – Martorell-C.	7.30	7.30	20.00	38	R50/R60
Pl. Espanya – Olesa de M.	12.00	30.00	30.00	49	R50
Pl. Espanya – Manresa B.	20.00	30.00	60.00	82	R50
Pl. Espanya – Igualada	20.00	30.00	60.00	84	R60

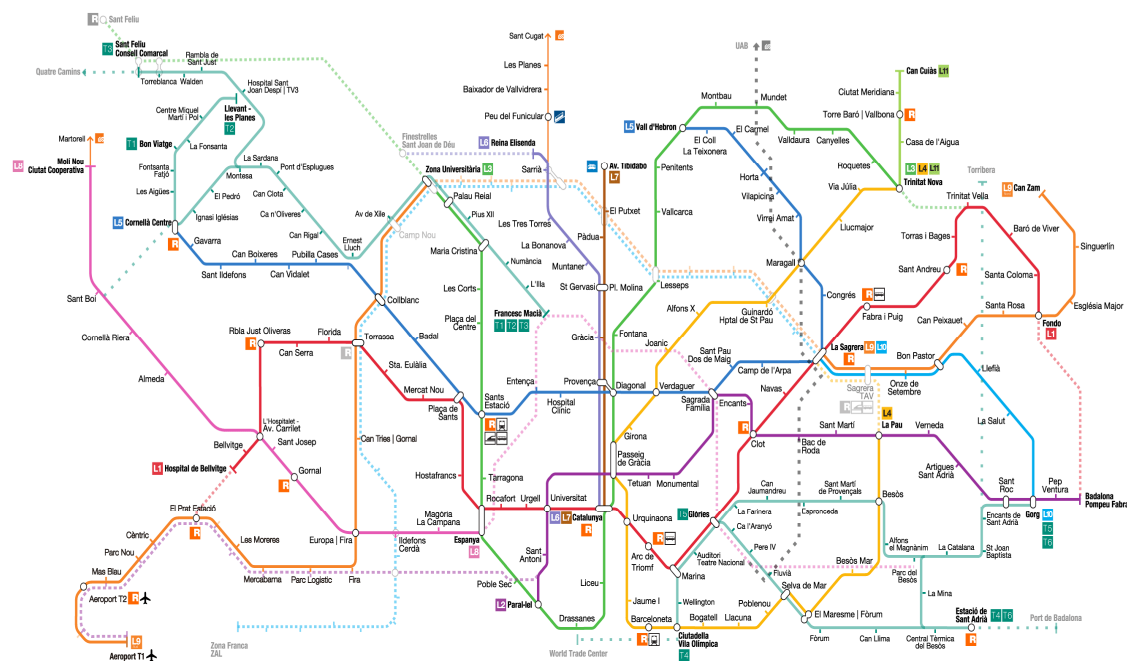


Figura 25. Mapa del metro de Barcelona incluyendo las líneas gestionadas por TMB y FGC.

La red actual tiene 123,5 kilómetros (102,6 km TMB + 20,9 km FGC) y 165 estaciones (141 TMB + 24 FGC). Las características principales de la red de metro se resumen en la Tabla 15 y 16.

Tabla 15. Características del Metro de Barcelona. Fuente: TMB

Línea	Longitud [km]	Número de Estaciones	Trenes por hora en HP	Intervalo de paso en HP [min]	Velocidad comercial [km/h]
L1	20.2	30	26	3.73	26.8
L2	12.8	18	19	3.46	25.7
L3	17.8	26	26	3.35	26.6
L4	16.5	22	19	4	28.4
L5	18.6	26	30	3	26.34
L9 Nord	10.4	12	6	6	29.25
L9 Sud	19.7	15	9	7.3	38.2
L11	2.3	5	2	7.5	24

Tabla 16. Tabla recapitulativa de los datos del Metro. Elaboración propia.

Datos	Cantidad
Longitud total [km]	118.3
Estaciones totales	154
Media de trenes por hora en HP	17.1
Media de intervalo de paso en HP [min]	4.8
Velocidad comercial media [km/h]	26
Demanda [millones]	385
Viajeros/coche-km útil	4.7
Viajeros/km (plazas-km/1000)	127.6
Recorrido medio de viaje [km]	5
Densidad estaciones/km2	0.24

5.3.4. Autobuses urbanos

Las características básicas de la red de buses de Barcelona son las siguientes:

Tabla 17. Características de la red de bus. Fuente: TMB 31/12/15

Número de líneas	100
Número de Paradas	2548
Carril bus [km]	163.6
Longitud red [km]	873.18
Velocidad comercial en HP [km/h]	11.56
Demanda [millones]	182.26
Viajeros/coche-km útil	4.68
Viajeros/km (plazas-km/1000)	157.51
Recorrido medio de viaje [km]	2.8
Densidad paradas/km2	4

Es importante destacar la nueva red de bus ortogonal, que es un proyecto que redibuja la red de autobuses de Barcelona siguiendo criterios de facilidad de uso, eficacia y gestión eficiente de los recursos. La red de autobuses de Barcelona era heredera de la red de tranvías de hace un siglo. Con el crecimiento de la ciudad, las líneas se fueron extendiendo y superponiendo

hasta crear una red poco lógica, con redundancia entre líneas y recorridos que penalizaban la velocidad y la frecuencia de paso.

Entró en servicio el 1 de octubre de 2012 con cinco líneas y fue ampliada el 18 de noviembre de 2013 y 15 de septiembre de 2014 con cinco y tres líneas más respectivamente. En 2016 se ha ampliado nuevamente la red con tres líneas más, quedando la configuración que vemos en la Figura 26. El Ayuntamiento de Barcelona es el propietario de la red y Transportes Metropolitanos de Barcelona (TMB) el operador.

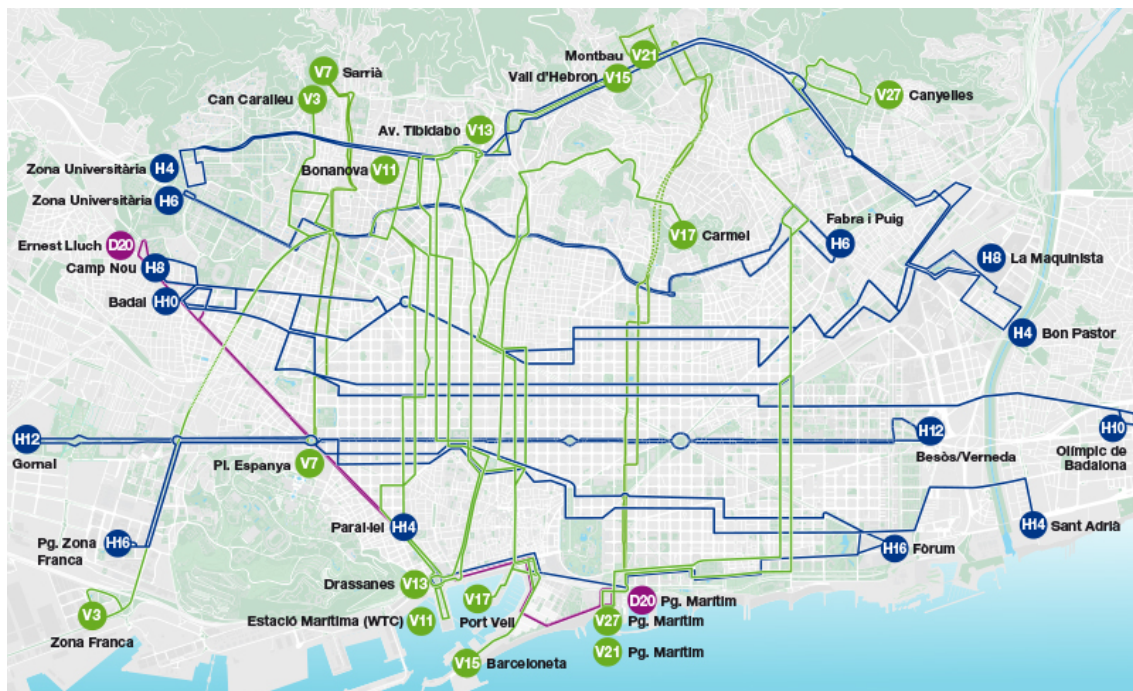


Figura 26. Red de buses ortogonales de Barcelona. Fuente: TMB.

Las características básicas de la Red Ortogonal de autobuses de Barcelona son:

- Longitud de la red: 93,5 km (185 km ida y vuelta aprox.)
- Reducción del tiempo medio de viaje en un 13 %.
- Velocidad comercial de 13 km/h.
- Paradas más distanciadas 350-450 m respecto al autobús convencional.
- Prioridad semafórica.
- Intercambiadores conectados con la red de metro, con los tranvías y con los otros autobuses de las líneas regulares.
- Accesible para personas con movilidad reducida.
- Paradas equipadas con máquinas expendedoras de billetes y con pantallas informativas.

5.3.5. Tarificación integrada de la Región Metropolitana de Barcelona

El ámbito del sistema tarifario integrado de la Autoritat del Transport Metropolità comprende un total de 253 municipios, divididos en seis coronas y diferentes sectores tarifarios.

Un solo título permite utilizar los medios de transporte necesarios para desplazarse de un punto a otro, haciendo transbordo en la red integrada de cercanías de Barcelona, de los Ferrocarrils de la Generalitat, del metro, del autobús y del tranvía.

Tabla 18. Tarificación integrada de la Región Metropolitana de Barcelona. Fuente: TMB (01/01/2016)

Documents de viatge		Travel Cards					
Sistema tarifari integrat	Integrated fare system	1 zona 1 zone	2 zona 2 zone	3 zona 3 zone	4 zona 4 zone	5 zona 5 zone	6 zona 6 zone
T-10	T-10	9,95 €	19,60 €	26,75 €	34,45 €	39,55 €	42,05 €
T-50/30	T-50/30	42,50 €	-	-	-	-	-
T-70/30	T-70/30	59,50 €	86,05 €	118,00 €	144,50 €	165,50 €	179,50 €
T-Mes	T-Month	52,75 €	71,00 €	99,60 €	122,00 €	140,00 €	150,00 €
T-Mes FM/FN* General	T-Month FM/FN* General	42,20 €	56,80 €	79,70 €	97,60 €	112,00 €	120,00 €
T-Mes FM/FN* Especial	T-Month FM/FN* Especial	26,40 €	35,50 €	49,80 €	61,00 €	70,00 €	75,00 €
T-FM/FN* 70/90 General	T-FM/FN* 70/90 General	55,70 €	109,75 €	149,80 €	192,90 €	221,50 €	235,50 €
T-FM/FN* 70/90 Especial	T-FM/FN* 70/90 Especial	34,80 €	68,60 €	93,60 €	120,55 €	138,40 €	147,20 €
T-Trimestre	T-Trimestre	142,00 €	192,00 €	269,00 €	329,50 €	378,00 €	405,00 €
T-Trimestre FM/FN* General	T-Trimestre FM/FN* General	113,60 €	153,60 €	215,20 €	263,60 €	302,40 €	324,00 €
T-Trimestre FM/FN* Especial	T-Trimestre FM/FN* Especial	71,00 €	96,00 €	134,50 €	164,75 €	189,00 €	202,50 €
T-Jove	T-Jove	105,00 €	142,00 €	199,20 €	244,00 €	280,00 €	300,00 €
T-Jove FM/FN* General	T-Jove FM/FN* General	84,00 €	113,60 €	159,35 €	195,20 €	224,00 €	240,00 €
T-Jove FM/FN* Especial	T-Jove FM/FN* Especial	52,50 €	71,00 €	99,60 €	122,00 €	140,00 €	150,00 €
T-Dia	T-Day	8,40 €	12,80 €	16,05 €	17,95 €	20,10 €	22,50 €
T-4	T-4	3,90 €	-	-	-	-	-
Bitllet senzill	Single ticket	2,15 €	-	-	-	-	-

* FM/FN= Família Monoparental/ Família nombrosa

* FM/FN= Single-parent Family/ Large Family

Se pueden utilizar hasta cuatro modos de transporte diferentes en cada transbordo, y el tiempo de transbordo entre ellos son:

Tabla 19. Tiempos de transbordo en función de la zona tarifaria de la RMB. Fuente: TMB.

Zona	1	2	3	4	5	6
Tiempo	1h15min	1h30min	1h45min	2h	2h15min	2h30min

5.4. Aparcamientos disuasorios de la Región Metropolitana de Barcelona

5.4.1. Ocupación de vehículos privados

Según el estudio de ATM (2008), se han contabilizado 112 aparcamientos vinculados a 93 estaciones de ferrocarril. Se considera un aparcamiento vinculado aquellos recintos mínimamente ordenados, a menos de 150 metros de la estación y que tienen una función clara de P&R, no teniendo que ser necesariamente aparcamientos oficialmente vinculados a FGC o Renfe Rodalies. Los datos se resumen en la Tabla 20.

Tabla 20. Aparcamientos de P&R de la red de ferrocarril de Renfe y FGC. Fuente: ATM (2008)

	Renfe	FGC	Total
Aparcamientos vinculados	71	41	112
Estaciones con aparcamiento vinculado	61	32	93
Ocupación media	74.6%	69.6%	73.3%
Plazas de coche	10.154	3.390	13.544
Plazas de ciclomotor	348	261	60
Plazas de bicicleta	126	168	294
Plazas PMR	72	55	127
Aparcamientos sólo para ferrocarril	9	3	12
Aparcamientos de pago	7	1	8

Tabla 21. Reparto de las plazas de coche en cada una de las líneas de ferrocarril. Fuente: ATM (2008)

Línea	Plazas de coche
FGC-Vallès	1.301
FGC-Baix Llobregat	2.089
Total FGC	3.339
Rodalies Renfe R1	2.878
Rodalies Renfe R2	3.658
Rodalies Renfe R3	586
Rodalies Renfe R4	2.034
Rodalies Renfe R7	998
Total Renfe	10.154

En la Tabla 21. Reparto de las plazas de coche en cada una de las líneas de ferrocarril. Fuente: ATM (2008) podemos contemplar que el número de plazas de aparcamiento disponible es deficiente si lo comparamos con las 105.000 plazas que disponen las estaciones de tren de la región parisina tal y como hemos visto en el apartado 2.5.1. Además constatamos que las estaciones de FGC menos de la mitad de plazas de aparcamiento que las de Rodalies Renfe, en parte porque la longitud de las líneas es mucho menor. La línea que tiene más oferta de plazas es la R2 de Rodalies mientras que la menos el la R3 de Rodalies. Teniendo en cuenta las Intensidades Medias Diarias de las carreteras de acceso a Barcelona que oscilan sobre los 40.000 vehículos al día, una oferta de 13.544 plazas de aparcamiento que ofrecen la posibilidad de intercambio modal es muy deficitaria.

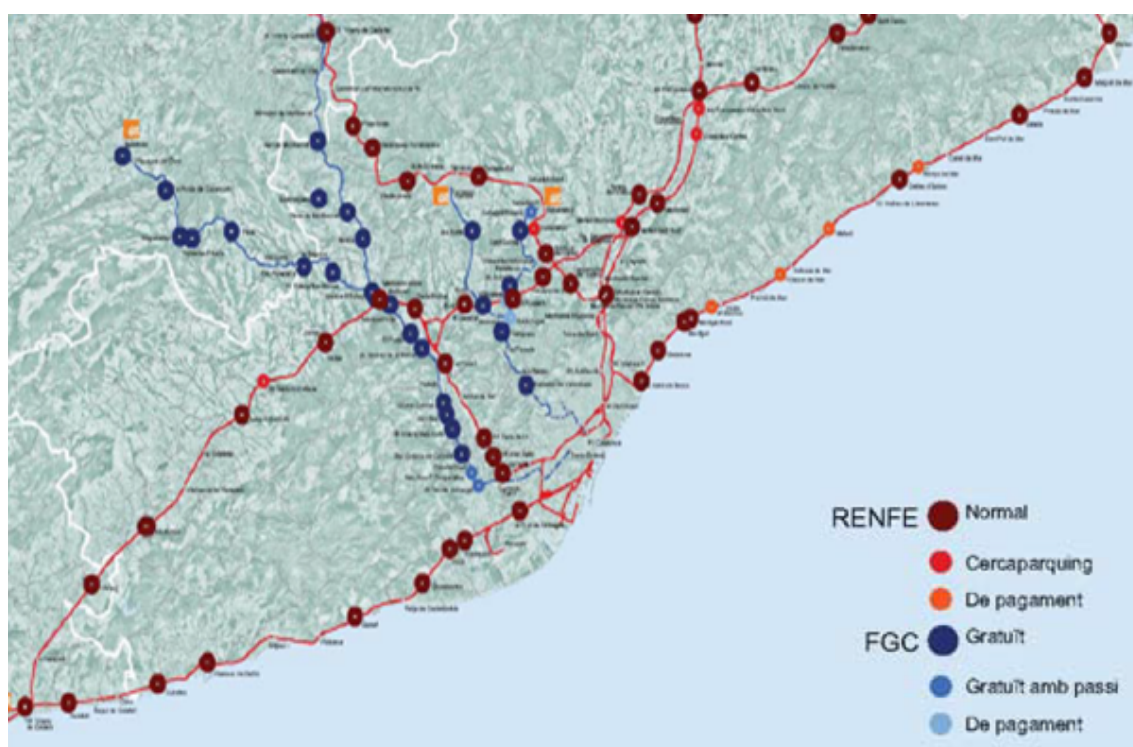


Figura 27. Distribución de los aparcamientos de intercambio en la Región Metropolitana de Barcelona. Fuente: (ATM, Anàlisi del sistema ferroviari de l'RMB, 2012)

5.4.2. Modelo de negocio de los P&R de la operadora Renfe

Rodalies: CercaParking

El producto CercaParking ofrece un billete combinado que incluye el viaje en tren y el aparcamiento en la estación. Actualmente está disponible en Granollers Centre, Vilanova i la Geltrú y Sant Sadurní. Las modalidades y precios son:

- Ida y vuelta: 1,15€
- Abono de 10 viajes: 2,15€ (5 estancias)
- Abono mensual: 8,50€

En los cerrados y reservados para abonados que pagan una cuota mensual, por ejemplo el caso de los CercaParking, la ocupación oscila entre el 40% y el 100%. (ATM, Impuls dels Parks and Ride a les estacions de Rodalies de Catalunya, 2013).

5.4.3. Caracterización de la demanda de aparcamiento

En el informe de ATM (2008) se realizaron 398 encuestas a usuarios que aparcaban en diferentes estaciones con P&R, con el objetivo de caracterizar la demanda de la siguiente manera:

- Características del usuario / Perfil del viajero
- Características del viaje en modo ferroviario. Origen, destino, motivo del viaje, frecuencia del viaje modo de acceso y dispersión
- Opinión sobre los aparcamientos de intercambio modal existentes y valoración de sus atributos: coste, vigilancia, seguridad, señalización, iluminación, equipamientos y servicios

Los resultados obtenidos en la encuesta son los siguientes:

Características del desplazamiento

- a) El 83% de los viajes es por motivo de trabajo
- b) Título de transporte utilizado: T-10 (55%); T-Mes / T50-30 (27%).
- c) Un 89% de los usuarios no dispone de un aparcamiento en la destinación final.

Motivos de utilización del P&R

- a) Un 33% de los usuarios llega a la estación en coche por comodidad, mientras que un 28% porque vive lejos.
- b) La decisión por la que no se realiza el viaje íntegramente en coche es la siguiente:
 - a. Precio
 - i. El 28% no puede dejar el coche cerca del trabajo
 - ii. El 22% realiza el intercambio modal porque el tren es más económico
 - b. Comodidad (22%)

- c. Rapidez (19%)
- c) El 72% considera que no tiene un sitio alternativo de aparcamiento
- d) Si no pudiera realizar la cadena modal (coche-tren) el 30% de los usuarios realizaría el viaje íntegramente en coche y un 26% en bus.

Valoración del P&R

- a) Aspectos positivos
 - a. Disponibilidad de plazas (46%)
 - b. Buena conexión con los andenes (29%)
 - c. Gratuidad (20%)
- b) Aspectos negativos
 - a. Falta de plazas libres (33%)
 - b. Inseguridad (15%)
 - c. Falta de iluminación (13%)

Disponibilidad al pago

Un 43% de los usuarios no estaría dispuesto a pagar por una plaza de aparcamiento vigilada. La media de pago es de 1.28 € diarios.

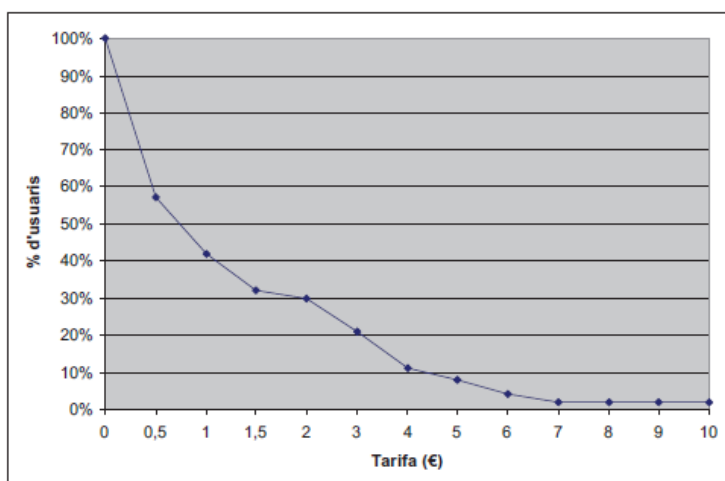


Figura 28. Disponibilidad al pago de los usuarios de P&R. Fuente: (ATM, Estudi del dimensionament i localització dels aparcaments d'intercanvi modal en les xarxes ferroviàries interurbanes operades per Renfe Rodalies i FGC, 2008)

5.4.4. Visión de intermodalidad en la sociedad actual

Otro de los factores que han hecho que los modelos de P&R no hayan funcionado es que en la sociedad catalana no existe la cultura del intercambiador. Como vemos en la Tabla 22

el intercambio modal (“modal coordination”) no está en las líneas de deseo de los usuarios catalanes, estando éste fuera de los 10 aspectos más importantes.

Tabla 22. Customer Satisfaction Index (CSI) de la línea de Barcelona-Vallès de FGC. Fuente: (Juncadella, 2016)

Aspects ranked in order of importance		Importance 2015	Satisfaction 2015	Variation in satisfaction 2015/2014
Fare	The fare is appropriate	88.44	50.08	5.90
Punctuality	Compliance with scheduled timetable	88.42	79.42	0.00
No accidents	There is no risk of accident	85.65	78.57	0.00
Frequency	No need to wait for the train / frequent trains	82.78	72.70	-1.60
At any time	You can take it at any time you need	81.28	71.71	-0.40
Nuisances	There is no risk of aggression or annoyances	79.72	75.79	-2.80
Quick ride	It takes little time to reach destination	79.24	74.83	-1.40
Information about service disruption	Info provided in case of service-related incidents	77.91	71.26	-1.60
Accessibility to the stations	Facilities to access to the stations (scalators, lifts...)	76.85	76.33	1.80
Temperature inside the carriages	Comfortable temperature, suitable for every season	75.38	69.58	2.00
Information about the line	Info about the service (timetable, fares...)	74.81	75.77	0.30
Signage	Everything is properly indicated, easily accessible	74.72	78.29	-2.00
Cleanliness of the carriages	Carriages are clean and well maintained	74.04	75.54	0.40
Modal coordination	Fare, timetable and transfer coordination	73.89	71.51	0.70
Accessibility to the carriages	Facilities to access to the carriages / easy to board	73.57	80.03	0.30
Crowds	No crowds when getting on and off the train	71.31	66.00	-1.10
Helpful customer-facing staff	There are staff members providing support and watching out	70.56	68.64	0.00
Cleanliness of the stations	Stations are clean and well maintained	70.53	75.27	-0.10

6. Modelo de mejora de la movilidad de Barcelona

El objetivo principal de este trabajo es la reducción del uso del vehículo privado en la ciudad de Barcelona. En el capítulo 5 hemos visto que el 19.7% de los desplazamientos en el interior de la ciudad se realizan en vehículo privado motorizado (coche o moto). No obstante, estos porcentajes se elevan a medida que nos alejamos de la ciudad, siendo de un 27.7% en la 1ª corona y un 46.5% en la 2ª corona. Esto se debe a que la red de transporte público va perdiendo densidad y eficiencia a medida que nos alejamos del centro. Como resultado, muchas personas que viven en la RMB se desplazan con su vehículo privado (mayoritariamente en coche) para acceder a Barcelona puesto que es una urbe con una gran atracción de viajes por múltiples motivos. Por consiguiente, este trabajo se centra en la reducción del volumen de vehículos los privados que acceden a la ciudad de Barcelona desde la Región Metropolitana.

Desde un punto de vista económico es difícil implantar una red de transporte público que sea eficiente para los ciudadanos que se quieran desplazar desde la RMB hasta Barcelona, puesto que a medida que nos alejamos del centro de la ciudad las poblaciones se dispersan y la densidad de población de los municipios se reduce. No obstante, sí que se puede establecer un sistema eficiente de intercambio modal del vehículo privado al transporte público: el Park and Ride.

Como hemos visto en el capítulo 2.5 desde la década de los 90 se han intentado instalar modelos de P&R para acceder a Barcelona. En el apartado 2.5.2 se han visto varios motivos que han provocado que los intentos de implantar un modelo de P&R en Catalunya no hayan tenido demasiado éxito.

Dadas estas circunstancias, en los siguientes apartados se trata de establecer un modelo de movilidad basado en la intermodalidad coche-tren-bici, siguiendo el esquema que ya hemos visto en el capítulo introductorio, ver la Figura 1.

6.1. Modelos conceptuales existentes de P&R

Existe una gran variedad de estudios sobre la localización óptima de los P&R a través de técnicas computacionales. Horner and Grubestic (2001) utilizaron Sistemas de Información Geográficos (SIG) para determinar la localización de los P&R y de ciudades dormitorio basado en medidas de accesibilidad. Faghri et al. (2002) propusieron un sistema híbrido de SIG y conocimiento base de expertos para ayudar a los planificadores a obtener una

localización óptima. Farhan and Murray (2008) desarrollaron una función espacial multi-objetivo teniendo en cuenta la demanda, la proximidad a las redes viarias de carreteras importantes, así como el contexto existente.

Desde un punto de vista más teórico, Wang et al. (2004) investigaron la localización y tarifa óptimas para un P&R en una ciudad lineal con residencias uniformemente distribuidas a lo largo de un corredor. El estudio considera que los viajes solo se realizan de las viviendas al centro de la ciudad y define como hipótesis que el tiempo de viaje por modo ferroviario es independiente de su ocupación, mientras que en el acceso por carretera, el tiempo de viaje depende del número de vehículos que circulan por ella. La localización y tarifa óptimas del P&R se basan en un modelo de elección determinístico para los usuarios y una función objetivo que maximiza el beneficio social y minimiza los costes operativos y de implantación. Hasta el presente, este modelo solo se ha aplicado a un ejemplo numérico y en esta tesina se tratará de aplicar a la ciudad de Barcelona, asumiendo que en ella hay diversos corredores de entrada.

Por otra parte, también hay mucha literatura sobre cuál es la distancia ideal donde debe situarse un P&R. No obstante, esta proporciona resultados muy dispares y hasta cierto punto confusos. En efecto, cada ciudad y cada cultura tienen sus determinadas características y es difícil extrapolar un modelo ideal. Revisando varios estudios estas son las distancias recomendadas: situados en el perímetro de mayor congestión pero no a menos de 6.4 km del Centro de Negocios (Cox, 1982); situados a más de 5 km del centro de la ciudad excepto en lugares con barreras geográficas (Bolguer et al., 1992); situados aguas arriba de la congestión para reducir el tráfico del área congestionada (Spillar, 1997); situados lo más cerca posible de los usuarios potenciales puesto que ha sido demostrado que el 50% de la demanda de los P&R proviene de densidades de población de 4 km de radio; situados en un punto dónde el coste de su uso sea inferior al coste de conducir y aparcar en el centro teniendo en cuenta la localización en función de las congestiones de acceso a las ciudades (O'Flaherty et al., 1997; Faghri et al., 2002).

6.2. Modelo Park and Ride aplicado para la ciudad de Barcelona

El modelo utilizado en este trabajo para determinar la localización y tarifa del P&R se basa en el modelo paramétrico de Wang et al. (2004). El modelo supone que cada corredor de acceso a Barcelona puede considerarse como una porción de ciudad lineal donde el área

metropolitana representa el centro de atracción de viajes o el *Central Business District* (CBD). Además realizamos la hipótesis de que los habitantes de la Región Metropolitana de Barcelona se distribuyen uniformemente alrededor de los diferentes accesos viarios a la ciudad. Los detalles del modelo que serán aplicados en este estudio se presentan a continuación.

6.2.1. Función del coste generalizado de viajar en transporte público

Hipótesis

Las hipótesis que realizamos para obtener la función de coste generalizado de viaje en transporte público son las siguientes:

- Se considera que el viaje de transporte público desde la región metropolitana hasta el centro se realiza mediante el ferrocarril
- No se considera congestión en el sistema de transporte público: el ferrocarril tiene vía propia y capacidad ilimitada
- La velocidad media del transporte público es constante

Función de coste generalizado del viaje en transporte público

Definimos el coste generalizado del viaje en ferrocarril a partir de la siguiente función:

$$G_r(x) = \mu(a_r^0 + t_r^0 x) + f_r^0 + f_r x \quad (1)$$

Donde,

μ es el valor del tiempo

a_r^0 es una variable que considera tanto el tiempo de acceso a transporte público, como el tiempo que se tarda desde que se abandona el transporte público hasta el destino final

t_r^0 es la velocidad comercial en transporte público

f_r^0 es la tarificación fija del transporte público

f_r es la tarificación variable del transporte público, en función de los kilómetros recorridos

x es la distancia respecto al destino final, el centro de la ciudad

6.2.2. Función de coste generalizado de viajar por carretera

Hipótesis

Las hipótesis consideradas para establecer la función de coste generalizado del viaje por carretera en vehículo privado son las siguientes:

- El tiempo de viaje depende del nivel de ocupación de la carretera
- La capacidad de la carretera es constante: C_c^o

Tiempo de viaje por unidad distancia

Consideramos la formulación del clásico modelo de Bureau of Public Roads (BPR) que determina la congestión en función del volumen de tráfico en un punto determinado:

$$T_c^d = t_c^0 \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{N_c(x)}{C_c^o} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

Donde,

$N_c(x)$ es el volumen de tráfico en el punto x

t_c^0 es el tiempo de viaje con flujo libre

α, β son parámetros de calibrado que dependen de las condiciones de contorno de tráfico

Coste del tiempo de viaje y operacional del uso del vehículo privado

$$T_c(x_1, x_2) = \mu \int_{x_1}^{x_2} T_c^d dx + f_c(x_2 - x_1) \quad (3)$$

Donde,

f_c es el coste operacional del vehículo por unidad de distancia

T_c^d es el tiempo de viaje definido en la fórmula

x_1 es la posición del punto de origen del viaje

x_2 es la posición del punto de destino del viaje

Función de coste generalizado del acceso por carretera con vehículo privado

A partir de los parámetros definidos anteriormente, la función de costes generalizados de viaje por carretera con vehículo privado es la siguiente:

$$G_c(x) = T_c(0, x) + \mu a_c^0 + p_c + p_p x \quad (4)$$

Donde,

a_c^0 es el tiempo de acceso y salida de la carretera

p_c es el precio del parking en el centro de la ciudad

p_p es el precio del peaje en función de la distancia. Este parámetro ha sido incorporado en el presente estudio al modelo de Wang et al. 2004, ya que varios accesos a la ciudad de Barcelona tienen esta condición de contorno.¹

Consideraremos que el origen de coordenadas (posición 0) es el centro de la ciudad.

6.2.3. Equilibrio del modelo incluyendo la instalación de P&R

Definimos un nuevo modo de transporte combinado que se realiza mediante vehículo privado hasta el P&R y posteriormente en transporte público. Se considera que solamente serán usuarios de este nuevo modo de transporte los viajeros que se sitúen aguas arriba de la localización del aparcamiento.

Dado un P&R situado a una distancia x_p del centro de la ciudad, los costes generalizados teniendo en cuenta la utilización de la instalación se definen a partir de la siguiente función:

$$G_p(x) = T_c(x, x_p) + p_p(x, x_p) + \varphi_p + \mu(t_{rb}^0 x_p) + f_r^0 + f_r x_p \quad (5)$$

Donde,

$T_c(x, x_p)$ es el tiempo de acceso en vehículo privado desde el origen del viaje hasta el P&R

¹ En algunos accesos la función de coste de peaje no es lineal sino escalonada. Esta aproximación facilita el análisis.

ϕ_p es el coste combinado del tiempo empleado en realizar:

1. El intercambio modal vehículo privado al tren P&R al tren
2. El desplazamiento desde la estación de ferrocarril del centro de la ciudad hasta el destino final

Los últimos tres términos ya se han definido en apartado 6.2.1, siendo los costes generalizados del viaje en tren desde el P&R hasta el centro de la ciudad.

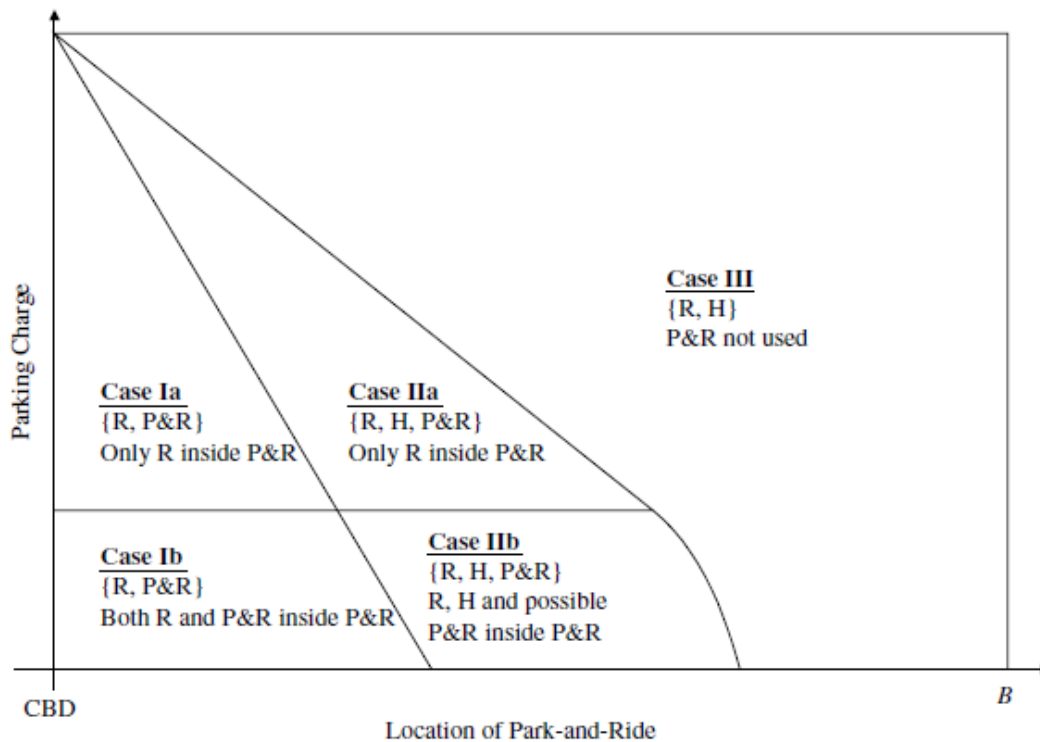


Figura 29. Patrones de elección de modo con el servicio de P&R en función de la distancia y la tarificación. (R=ferrocarril, H= autopista). Fuente: (Wang , Yang , & Lindsey, 2004)

El caso I es aquel en que los residentes que viven cerca del centro solo utilizan el servicio de transporte público y el P&R. Si el aparcamiento tiene una tarificación alta, tan solo se utilizara el modo de transporte ferroviario en la zona comprendida entre el CBD y el P&R (Caso Ia). El caso Ib no lo utilizaremos en este estudio puesto que en el análisis asumimos que nadie accede al P&R aguas abajo del mismo.

En el caso II, los residentes de las zonas intermedias utilizan los 3 modos de transporte. En caso de que la tarificación del P&R sea elevada, solo se utilizará el modo ferroviario en la zona comprendida entre el CBD y el P&R (Caso IIa)

Finalmente, en las zonas muy alejadas del centro de la ciudad (Caso III) tan solo se utiliza o el servicio de transporte público o la carretera.

De cada uno de los subcasos de estudio el que nos interesa es el caso IIb, puesto que es aquel en que solo se utilizará el transporte público dentro de la región del P&R.

Caso IIb:

Todos los residentes en el interior del P&R utilizan el transporte público. Éste es el caso de interés en el cual tiene lógica utilizar un modelo de aparcamiento disuasorio.

En el presente estudio, para cada uno de los accesos a la ciudad de Barcelona verificaremos que nos hallemos en este caso, puesto que sino no tiene sentido plantear un modelo de P&R.

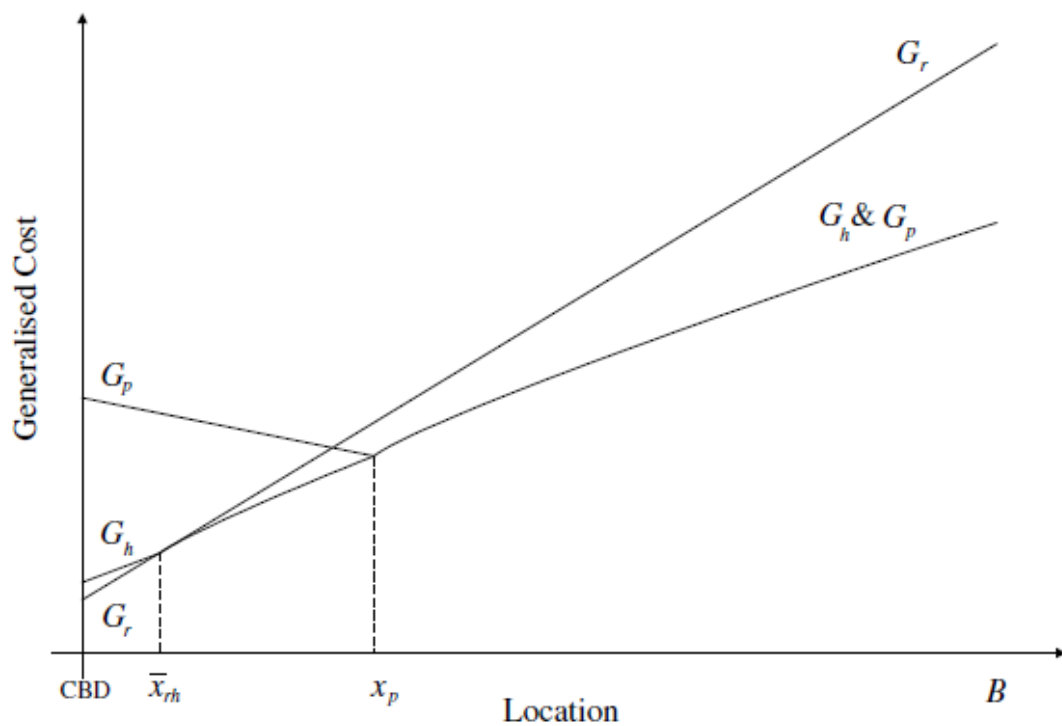


Figura 30. Costes generalizados de las curvas para el caso IIb. Fuente: (Wang , Yang , & Lindsey, 2004)

A pesar de que en el caso Ia el P&R es la opción utilizada por los usuarios ubicados más allá del mismo, no resulta interesante puesto que los costes del ferrocarril son inferiores a los del modo del P&R más allá de x_p . (Ver Figura 31)

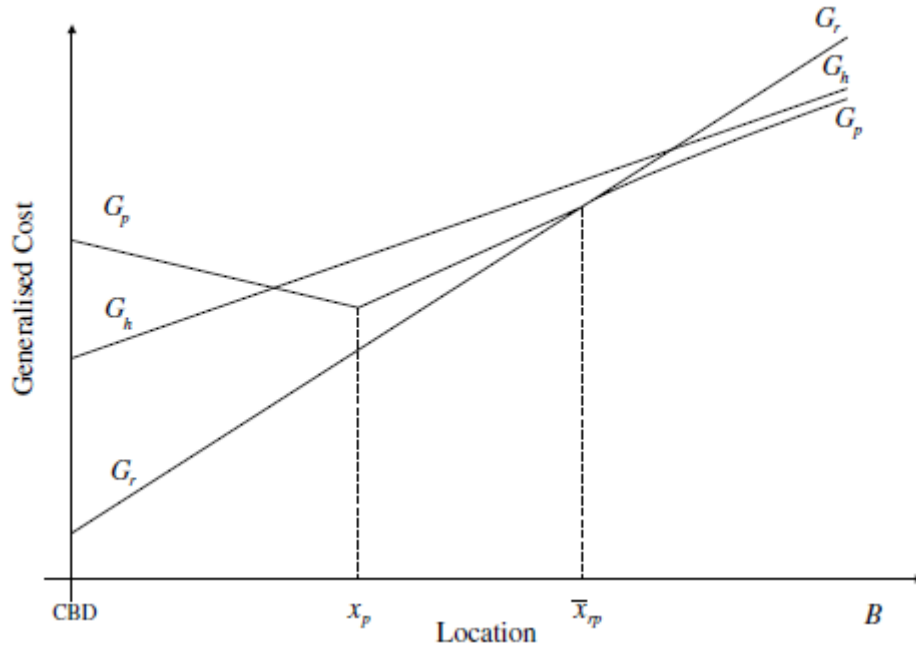


Figura 31. Costes generalizados de las curvas para el caso Ia. Fuente: (Wang , Yang , & Lindsey, 2004)

6.2.4. Parámetros generales para el modelo de Park and Ride en los accesos de Barcelona

En este apartado definiremos los parámetros generales para aplicar el modelo de P&R definido en el apartado anterior. Para cada uno de los corredores de acceso a la ciudad de Barcelona hay parámetros específicos (Longitud de la carretera, Intensidad Media Diaria de vehículos, servicios ferroviarios, etc). Estos los definiremos en los apartados correspondientes a cada corredor.

En la Tabla 23 definimos los parámetros generales que son aplicables para todos los accesos a Barcelona:

Tabla 23. Parámetros generales aplicables al modelo de P&R de Barcelona.

Parámetros	Cantidad	Unidades	Referencia
Valor del tiempo	18.4	€/h	(Lam, 2001)
Tarifa fija del transporte público (ferrocarril)	1.18	€	Elaboración propia
Tarifa variable del transporte público (ferrocarril)	0.1	€/km	Elaboración propia
Parámetro α (función BPR)	0.5	-	(Wang , Yang , & Lindsey, 2004)
Parámetro β (función BPR)	1	-	(Wang , Yang , & Lindsey, 2004)
Coste operativo del vehículo privado (Gasolina)	0.0875	€/km	Elaboración propia
Tarifa del parking en el centro	5	€/día	Elaboración propia
Tiempo de penalización por el intercambio modal al P&R	5	min	Elaboración propia
Variable cost for City Center parking facility	0€		Elaboración propia

En los siguientes apartados explicaremos el método de cálculo de los parámetros generales de elaboración propia.

6.2.4.1. Cálculo de la tarificación fija y variable del transporte público

La tarificación establecida por l'Autoritat del Transport Metropolità se resume en la **Error! Reference source not found..**

Dado que el título de transporte más utilizado para los usuarios que realizan el intercambio modal coche-ferrocarril es la T-10 (ATM, 2008), se calcularán las tarifas a integrar al modelo en función del precio de este título de transporte. Suponiendo que un usuario utiliza un título de transporte T-Mes o T-Trimestre, los beneficios obtenidos son mayores, puesto que el coste unitario del viaje disminuye.

Tarifa fija

Como tarifa fija consideramos el coste de un viaje dentro de la Zona 1 definida por ATM.

El precio de una tarjeta de transporte T-10 es de 9.95€, luego el coste unitario del viaje que incorporaremos al modelo es:

$$f_r^0 = 1€/viaje$$

Tarifa variable en función de la distancia recorrida

La tarifa de transporte definida por ATM es directamente proporcional a la distancia a medida que nos alejamos del área metropolitana de Barcelona (desde la zona 1 hasta la zona 6).

Para definir la tarifa variable en función de la distancia recorrida, realizaremos un factor de conversión utilizando la tarificación de la zona 3, ya que es la que se encuentra en la zona intermedia.

Suponiendo que el precio de una T-10 de 3 zonas es de 26.75 €, el diferencial de precio respecto a la de zona 1 es de 16.8 €. Bajo la hipótesis que la distancia entre la zona 1 y 3 es de aproximadamente 15 km, realizando un factor de conversión obtenemos la tarificación variable en función de la distancia.

$$16.8 \text{ €} \cdot \frac{1}{10 \text{ viajes}} \cdot \frac{1}{15 \text{ km}} = \frac{0.1 \text{ €}}{\text{viaje km}}$$

$$f_r = 0.1 \frac{\text{€}}{\text{km}}$$

6.2.4.2. Coste operativo del vehículo privado (f_c)

Consideramos que los gastos operativos del vehículo privado vienen definidos por el coste del combustible. Luego no se consideran en el estudio los gastos de mantenimiento, seguro e impuestos del vehículo privado. Si se considerasen, los beneficios de utilización del transporte público serían mayores.

Bajo la hipótesis que el vehículo privado utilizado es un coche de gasolina con un consumo de 7 litros/100km y suponiendo que el precio del combustible es de 1.25€, el coste operativo por unidad de distancia es el siguiente:

$$f_c = 1.25 \text{ €} \frac{7 \text{ litros}}{100 \text{ km}} = 0.0875 \frac{\text{€}}{\text{km}}$$

6.2.4.3. Coste del aparcamiento en el centro de la ciudad (p_c)

Bajo la hipótesis que el usuario que utiliza el P&R accede a diario a la ciudad para trabajar, calcularemos el precio de aparcamiento en base al alquiler mensual de una plaza de parking en el centro de Barcelona.

El precio medio de alquiler de una plaza de aparcamiento en el centro de Barcelona es de 100€/mes (El confidencial, 2014). Así pues, suponiendo que se utiliza todos los días laborables del mes, el coste medio diario considerado es de:

$$p_c = 5€/día$$

Por otra parte, suponiendo que el usuario que realiza el viaje a Barcelona aparca en la zona pública “zona azul”, las tarifas de estacionamiento del Ayuntamiento de Barcelona son las siguientes



Figura 32. Tarifas de Zona Azul establecidas por el Ayuntamiento de Barcelona.

Las tarifas se establecen en función de la demanda de estacionamiento existente. Así, en el Eixample y en Ciutat Vella, que es donde hay más demanda, se aplica la tarifa A, mientras que, en el resto de zonas de residentes del Àrea Verda, se aplica la tarifa B. Las tarifas C y D se aplican en lugares donde hay menos demanda de estacionamiento.

La media de las cuatro tarifas es de 1.94€, de manera que si consideramos una tarifa en el modelo P&R de $p_c = 5€/día$, también se consideran en el modelo los usuarios que acceden a la ciudad para realizar una gestión y que se estacionan hasta 2.5 horas.

6.2.4.4. Tiempo de penalización por el intercambio modal del vehículo privado al transporte público en el P&R

Para determinar el tiempo de transferencia modal realizamos 3 hipótesis:

- El tiempo de salida de la carretera y aparcamiento de 2 minutos. Suponemos que la asignación de plazas se realiza mediante una aplicación para Smartphone que a

medida que nos acercamos al aparcamiento asigna de manera automática y eficiente una plaza, evitando que el usuario pierda tiempo buscando un espacio libre.

- Tiempo de desplazamiento coche-andén de 2 minutos.
- Dada una frecuencia media de los servicios de ferrocarril de 5 minutos, el tiempo medio de espera al tren es de 2.5 minutos.
- Factor de percepción del tiempo:

Tabla 24. Coeficientes de los tiempos de percepción de los usuarios. Fuente: TCQSM (2003)

	Tiempo en el vehículo	Tiempo de acceso	Tiempo de espera	Tiempo de transferencia
Media	1	2.2	2.1	2.5
Rango	1	0.8-4.4	0.5-5.1	1.1-4.4

Las nuevas tecnologías reducen el factor de percepción del tiempo, puesto que la información a tiempo real de los servicios de transporte vistas en el apartado 4 hacen que el usuario pueda planificar mejor su viaje y optimizar los tiempos de transferencia. Dada esta circunstancia tomaremos un factor de percepción del tiempo de valor 1,25.

En base a las hipótesis de tiempos medios establecidas,

Tabla 25. Tabla recapitulativa de los tiempos medios de intercambio modal.

Intercambio modal Coche-Tren	Tiempo medio de aparcamiento [min]	Tiempo medio de desplazamiento coche-andén [min]	Tiempo medio de espera tren [min]	Factor de percepción del tiempo	Total [min]
Estación FGC o Renfe	2	1	1	1.25	5

El tiempo total de intercambio teniendo en cuenta el factor de percepción del tiempo es de 5 min.

6.2.4.5. Tarificación del Park and Ride

En primer lugar se supondrá que el P&R es gratuito, puesto que el interés del planificador y de la administración es promocionar el uso del transporte público para reducir el volumen de vehículos privados en la ciudad. No obstante, teniendo en cuenta el difícil contexto económico actual, se realizará un análisis de sensibilidad del modelo en función de la tarifa del P&R.

6.3. El desplazamiento de la última milla en la ciudad de Barcelona

En esta sección explicaremos cómo será el “desplazamiento de última milla” de los usuarios que utilizan el modelo de P&R para la ciudad de Barcelona. Veremos cuál es el modo de transporte más eficiente para este desplazamiento, que son esos últimos kilómetros a recorrer desde que se sale de la parada de ferrocarril del centro de la ciudad hasta que se accede al destino final del viaje.

Tal y como hemos visto en el capítulo 3 la bicicleta convencional o eléctrica compartida está cogiendo un rol muy importante en muchas ciudades europeas. Como veremos a continuación, la bicicleta juega un papel importante en el éxito del modelo de P&R, puesto que permite efectuar el último desplazamiento de la cadena modal de manera muy rápida. La consecuencia directa de realizar un desplazamiento eficaz al llegar al centro de la ciudad, es que disminuimos los tiempos de viaje y los costes del usuario, haciendo que la opción de dejar el coche en un P&R resulte atractiva.

Definimos los costes generalizados asociados a los diferentes modos de desplazamiento urbanos:

1. Desplazamiento a pie

Este tipo de desplazamiento es el más utilizado según la EMEF 2014 en el Área Metropolitana de Barcelona. La fórmula considerada para determinar los costes generalizados del desplazamiento a pie es la siguiente:

$$C_{pie} = \frac{d_{pie}}{v_{pie}} \mu \quad (6)$$

Donde

d_{pie} es la distancia recorrida a pie

v_{pie} es la velocidad a pie

μ es el valor del tiempo

2. Desplazamiento en bicicleta eléctrica pública compartida (Bicing eléctrico)

El segundo modo de transporte considerado es el Bicing eléctrico, bajo la hipótesis de que el nuevo sistema de bicicletas compartidas de Barcelona en un futuro será exclusivamente eléctrico como es el caso de Madrid. Este último desarrolla un papel importante en la movilidad de Barcelona puesto que permite vencer la orografía de algunas zonas de la ciudad que tienen una pendiente excesiva para el ciclista.

$$C_{bici} = \mu \cdot (d_{bici}/v_{bici} + \tau_{bici} + \delta_{bici}) + p_{bici} \quad (7)$$

Donde

d_{bici} es la distancia recorrida en bicicleta

v_{bici} es la velocidad de la bicicleta eléctrica.

τ_{bici} es el tiempo perdido debido al intercambio modal tren-bicicleta.

δ_{bici} es el tiempo medio desde que dejamos la bicicleta en la parada de bicicletas públicas compartidas hasta el destino final, suponiendo que se realiza el último desplazamiento a pie.

p_{bici} es el coste de la bicicleta eléctrica para una utilización inferior a 30 minutos.

3. Desplazamiento en Bus

$$C_{bus} = \mu \cdot (d_{bus}/v_{bus} + \tau_{bus} + \tau_{transbus} + \delta_{bus}) + p_{bus} \quad (8)$$

Donde

d_{bus} es la distancia recorrida en bus

v_{bus} es la velocidad de la bus

τ_{bus} es el tiempo perdido debido al intercambio modal tren-bus

$\tau_{transbus}$ es el tiempo perdido debido al transbordo extra a realizar

δ_{bus} es el tiempo medio desde que se baja del bus hasta el destino final, suponiendo que se realiza el último desplazamiento a pie

p_{bus} es el coste del título de transporte del bus

4. Metro

$$C_{metro} = \mu \cdot (d_{metro}/v_{metro} + \tau_{metro} + \tau_{transmetro} + \delta_{metro}) + p_{metro} \quad (9)$$

Donde

d_{metro} es la distancia recorrida en metro

v_{metro} es la velocidad de la metro

τ_{metro} es el tiempo perdido debido al intercambio modal tren- metro

$\tau_{transmetro}$ es el tiempo perdido debido al transbordo extra a realizar

δ_{metro} es el tiempo medio desde que se baja del metro hasta el destino final, suponiendo que se realiza el último desplazamiento a pie

A continuación definimos el valor de cada uno de los parámetros definidos anteriormente:

Variables de entrada	Valor	Unidades	Referencia
Velocidad de la bicicleta normal	11.4	km/h	(Martin, 2007)
Velocidad de la bicicleta eléctrica	14	km/h	Elaboración propia
Velocidad a pie	4.5	km/h	(Martin, 2007)
Velocidad metro	26	km/h	Elaboración propia
Velocidad bus	13	km/h	(TMB, 2016)
Valor del tiempo	18.4	€/hora	(Lam, 2001)
Coste billete (T-10)	1	€	Tarificación ATM
Coste Bicing eléctrico	0.45	€/viaje	(Bicing, 2016)
δ_{bici}	4	min	Elaboración propia
δ_{bus}	5.3	min	Elaboración propia
δ_{metro}	6.6	min	Elaboración propia
Tiempo medio de transbordo tren-bicicleta	4	min	Elaboración propia
Tiempo medio de transbordo tren-metro	4.8	min	(TMB, 2016)
Tiempo medio de transbordo tren-bus	4	min	(TMB, 2016)
Tiempo medio de transbordo extra de metro o bus	2.5	min	TMB 2012

Con estos parámetros podemos definir las curvas de costes de cada uno de los medios de transporte:

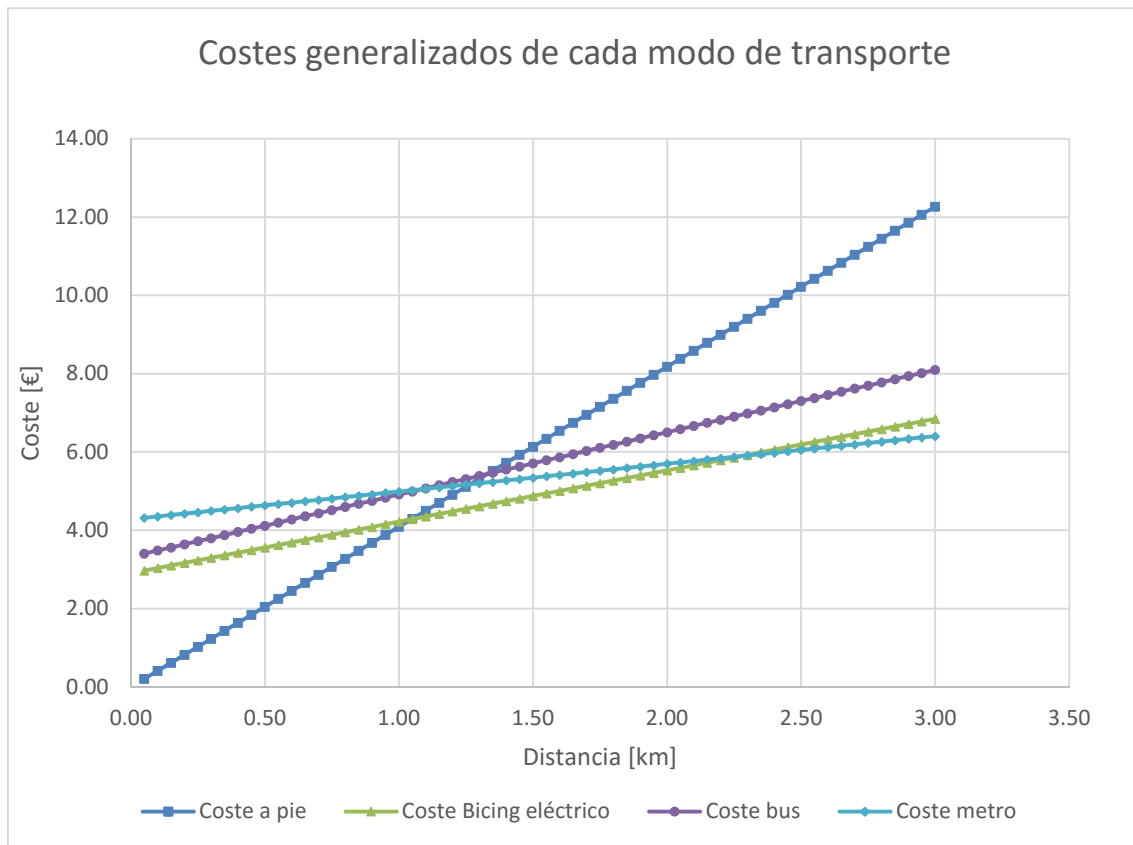


Figura 33. Costes generalizados de los modos de transporte urbanos para el desplazamiento de última milla. Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos, llegamos a la conclusión de que el modo de transporte ideal para el desplazamiento de la última milla en función de la distancia a recorrer es el siguiente:

- Desplazamientos de 0 a 1 km a pie
- Desplazamientos de 1 a 2.5 km en bicicleta convencional o eléctrica
- Desplazamientos de más de 2.5km en metro

Es importante destacar que los costes que ofrece el metro son menores que los del bus. No obstante, la red de bus es mucho más densa que la de metro, proporcionando una mayor accesibilidad en casos determinados.

Por otra parte, a partir de los 2.5 km los costes generalizados del transporte en bicicleta y metro son muy similares, luego obtendremos tiempos de viaje muy parejos. Como consecuencia, el desplazamiento en bicicleta compartida convencional o eléctrica resulta ser el modo de transporte óptimo para el último escalón de la cadena intermodal de transporte. Además este medio de transporte no genera prácticamente externalidades, puesto que es un medio de transporte muy ecológico. No obstante, se debe destacar que la bicicleta también

presenta inconvenientes de otro tipo, como por ejemplo las condiciones meteorológicas adversas (lluvia o excesivo calor o frío), las capacidades físicas de las personas para ir en este medio de transporte, etc.

Otro de los servicios que podrían dar un gran servicio a los ciudadanos para la última milla son los sistemas de motocicletas eléctricas compartidas o *motosharing* vistas en el apartado 4.3. Este modo de transporte tiene una velocidad media más elevada que la de la bicicleta eléctrica compartida y además tiene la ventaja de que se puede dejar la motocicleta en el destino final. A pesar de que este sería el modo de transporte más eficiente, tal y como lo vemos en la Figura 34, la infraestructura de este tipo de servicio es todavía muy pequeña. Hoy en día la empresa privada que gestiona este servicio tan sólo tiene 250 motocicletas en Barcelona. En los anexos podemos ver las variables de entrada que permiten dibujar la curva de costes del *motosharing*.

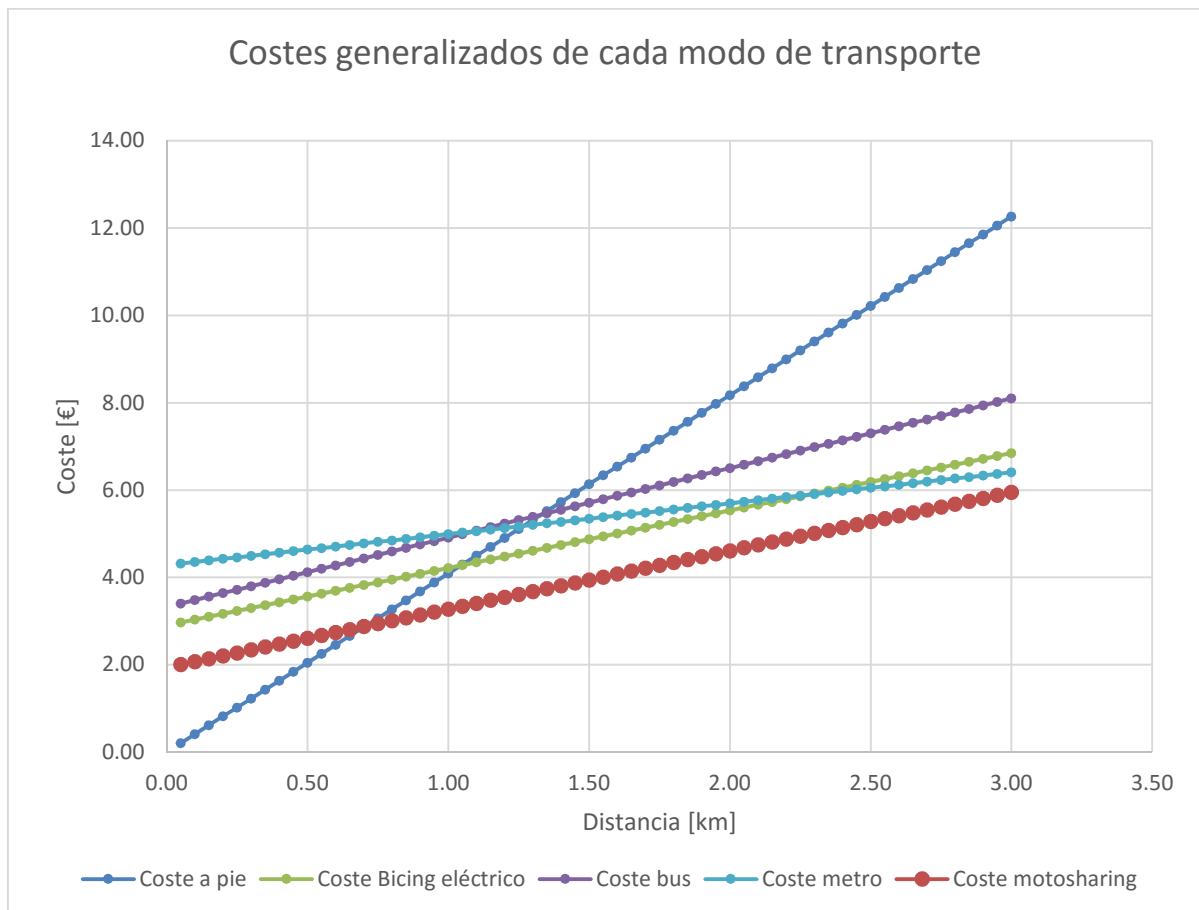


Figura 34. Costes generalizados para el desplazamiento de la última milla añadiendo un servicio de motocicleta eléctrica compartida.

6.4. Corredor del Maresme: Autopista del Maresme C-32 con P&R de correspondencia con la línea R1 de Rodalies

El primer caso de estudio es el de la Autopista del Maresme C-32, considerando el intercambio modal a la línea R1 de Rodalies. Como podemos ver en la Figura 35 tenemos un corredor viario prácticamente contiguo al trazado ferroviario y con una distribución lineal de la población alrededor de este eje de accesibilidad a la ciudad de Barcelona.



Figura 35. Trazado de la Autopista C-32 del Maresme y de la línea de ferrocarril de cercanías R1. Fuente: Costa de Barcelona al Maresme (Web digital)

En la Tabla 26 podemos contemplar las variables de entrada de nuestro modelo para el caso del Maresme. En los siguientes capítulos se explicará los métodos de cálculo de las variables que han sido elaboradas de manera personal.

Tabla 26. Parámetros específicos del corredor del Maresme

Parámetro	Cantidad	Unidades	Referencia
Demanda media diaria	50 000	veh/d	(Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, 2011)
Demanda máxima diaria	90 000	veh/d	(Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, 2011)
Longitud carretera (L)	76	km	68km de C-32 8km de C-31 (Acceso Litoral) 8km de B-20 (Acceso Nus Trinitat – Ronda de Dalt)
Capacidad de la carretera	5400	veh/h	<i>Highway capacity manual</i> (2000) 1800 vehículos/h por carril
Tiempo medio de acceso y salida tren	26	min	Elaboración propia
Tiempo medio de acceso y salida de la carretera	26.5	min	Elaboración propia
Velocidad libre de la carretera	120	km/h	Autopistas.com
Penalización por intercambio modal al P&R	11	min	Elaboración propia
Coste del peaje	0.06	€/km	Elaboración propia

6.4.1. Cálculo del tiempo medio de acceso y salida del viaje por carretera en vehículo privado

Cálculo del tiempo medio de acceso

Como tiempo medio de acceso consideramos el tiempo desde el origen del desplazamiento hasta la entrada a la autopista.

Suponemos que los municipios tienen una distribución circular. Calcularemos el tiempo medio de acceso hasta el centro del municipio y luego le sumaremos el tiempo que se tarda hasta la entrada a la autopista.

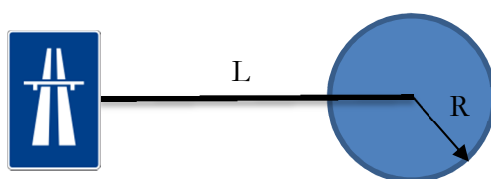


Figura 36. Esquema para el cálculo del tiempo de acceso a la autopista

Donde

- R es el radio del municipio
- L es la distancia desde el centro del municipio hasta la entrada a la autopista

En el caso del Maresme y de las otras poblaciones del litoral, la distribución es más bien semicircular. No obstante, la distancia esperada hasta el centro es la misma.

En primer lugar determinamos la distancia esperada desde todos los puntos del municipio hasta el centro mediante la siguiente integral

$$E[d] = \int_0^{2\pi} \int_0^R r \cdot \frac{1}{\pi R^2} \cdot r \, dr d\theta = \frac{2R}{3} \quad (10)$$

Para determinar el tiempo de acceso utilizamos la siguiente formulación:

$$T = \left(\frac{2R}{3} + L \right) / V_c \quad (11)$$

Donde $V_c = 30 \text{ km/h}$ es la velocidad media del vehículo en el municipio

A partir de los datos extraídos del Institut d'Estudis de Catalunya obtenemos los datos necesarios para determinar el tiempo medio de acceso a la autopista desde los municipios del Maresme.

Tabla 27. Datos del Maresme. Elaboración propia a partir de los datos de Idescat (2016).

Media de los radios del municipio [km]	1.7
Distancia del centro a la autopista [km]	3
Distancia en coche a la autopista [km]	4.6
Tiempo medio de acceso a la autopista [min]	8

Cálculo del tiempo medio de salida de la autopista

Como tiempo medio de salida consideramos el tiempo desde que se sale de la autopista hasta llegar al destino final. Dado que el cálculo medio del tiempo de acceso es más complejo en la ciudad de Barcelona debido a las congestiones en hora punta, se ha decidido realizar el cálculo a través de los datos obtenidos con el programa de cálculo de rutas de Google Maps.

Este sistema, en el caso de cálculo de rutas en horas punta ofrece dos valores para estimar el viaje: uno sin tráfico y el otro en base a la congestión estimada en las horas punta.

Se han seleccionado 10 centros de atracción de viajes de la ciudad, homogéneamente distribuidos en el Área Metropolitana. Se ha calculado el tiempo de acceso en hora punta mediante Google Maps hasta estos 10 destinos finales.



Figura 37. Puntos de atracción de viajes seleccionados para calcular el tiempo medio de salida de la autopista. Fuente: Google Earth.

Como vemos en la Figura 37 se consideran dos puntos de salida de la autopista C-32:

- Nus de la Trinitat (Acceso B-20, Ronda de Dalt)
- Entrada Gran Vía (C-31)

Tabla 28. Media de los tiempos de salida de la autopista C-32

Acceso	Distancia [km]	Tiempo google Maps con tráfico [min]	Tiempo google Maps sin tráfico [min]
Media Nus Trinitat	9.8	19.5	14
Media Gran Vía (C-31)	7.5	17.5	15
Media Total	8.65	18.5	14.5

Para el modelo utilizaremos el tiempo medio de Google Maps suponiendo condiciones de tráfico, puesto que es lo habitual en horas punta.

6.4.2. Cálculo del tiempo medio de acceso y salida del ferrocarril

Tiempo medio de salida del ferrocarril

Como tiempo medio de salida se considera el tiempo desde que se desciende del tren hasta que se llega al destino final.

Una vez hemos definido el medio de transporte óptimo en el capítulo 6.3, podemos estimar cuál será el tiempo medio de viaje cuando un usuario desciende del tren. Considerando la distancia euclidiana y trabajando con coordenadas polares, en la Figura 38 vemos el alcance de cada uno de los modos:

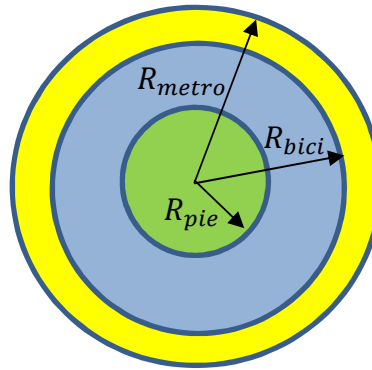


Figura 38. Esquema del modo de transporte óptimo en función de la distancia. En verde la distancia óptima para ir pie, en azul en bici y en amarillo en metro. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el tiempo medio estimado empleamos la siguiente formulación:

$$\text{Tiempo medio estimado} = \frac{\frac{d_{mp}}{v_p} \cdot A_p + \frac{d_{mbici}}{v_{bici}} \cdot A_{bici} + \frac{d_{mmetro}}{v_{metro}} \cdot A_{metro}}{A_p + A_{bici} + A_{metro}} \quad (12)$$

Donde

- $d_{mp}, d_{mbici}, d_{mmetro}$ son las distancias medias esperadas a pie, en bicicleta eléctrica y en metro respectivamente
- A_p, A_{bici}, A_{metro} son las áreas que engloban los destinos a las cuáles es óptimo desplazarse a pie, en bicicleta eléctrica y en metro respectivamente
- v_p, v_{bici}, v_{metro} son las velocidades de cada modo de transporte

Para determinar las distancias medias esperadas de cada uno de los modos utilizaremos la probabilidad geométrica. Las formulaciones son las siguientes:

$$E[d_{mp}] = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_p} r \cdot \frac{1}{\pi R_p^2} \cdot r \, dr d\theta = \frac{2R_p}{3} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} E[d_{mbici}] &= \int_0^{2\pi} \int_{R_p}^{R_{bici}} r \cdot \frac{1}{\pi(R_{bici} - R_p)^2} \cdot r \, dr d\theta \\ &= \frac{2}{3}(R_{bici} - R_p) + R_p \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} E[d_{mmetro}] &= \int_0^{2\pi} \int_{R_{bici}}^{R_{metro}} r \cdot \frac{1}{\pi(R_{metro} - R_{bici})^2} \cdot r \, dr d\theta \\ &= \frac{2}{3}(R_{metro} - R_{bici}) + R_{bici} \end{aligned} \quad (15)$$

Finalmente, calculamos el tiempo medio estimado sustituyendo los valores encontrados en la fórmula (12) y suponiendo un desplazamiento límite de 3.5km.

Tabla 29. Resultados del cálculo del tiempo medio de salida del ferrocarril.

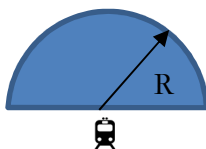
Modo según distancia	Distancia óptima a pie [km]	1
	Distancia óptima en bici eléctrica [km]	3
	Distancia máx. en metro [km]	4
Distancias medias	Distancia media a pie [km]	0.66
	Distancia media en bici eléctrica [km]	2.33
	Distancia media en metro [km]	3.66
Áreas	Área a pie [km ²]	3.14
	Área bici eléctrica [km ²]	25.12
	Área bici [km ²]	25.12
Velocidad	Velocidad a pie [km/h]	4.5
	Velocidad en bici eléctrica [km/h]	14
	Velocidad metro [km/h]	26
Tiempo medio [min]		11

Por lo tanto, el tiempo medio estimado desde que un usuario sale del ferrocarril hasta que alcanza su destino final será de 11 min.

Tiempo medio de acceso al ferrocarril

Para calcular el tiempo medio de acceso a la estación de ferrocarril tendremos en cuenta las siguientes hipótesis:

- Suponemos que los municipios tienen una distribución semicircular y la estación de tren se encuentra en el centro del municipio.



- El tiempo medio de espera del tren en hora punta en una parada de la línea R1 de cercanías es de 3 min (ver Tabla 11)
- Hipótesis de que el 30% de los desplazamientos se realizan en bicicleta y el 70% a pie.
- La estimación de la distancia esperada se calcula con la ecuación (13)

Tabla 30. Parámetros para el cálculo del tiempo medio de acceso al tren

Media de los radios del municipio [km]	1.65
Distancia Esperada [m]	1.10
Velocidad media a pie [km/h]	4.50
Velocidad media en bicicleta [km/h]	11.40
Tiempo medio de espera del tren [min]	3
Tiempo medio estimado de acceso [min]	15

6.4.3. Cálculo del coste del peaje en función de la distancia

Para determinar el coste del peaje en función de la distancia recorrida se ha calculado el coste del peaje si se recorre la autopista completa y se ha dividido por la longitud de la misma. Siendo 4.72€ el coste de la autopista desde Blanes hasta Barcelona, obtenemos un coste de $p_p = 0.06€/km$.

En el caso de otros corredores tenemos peajes de tipo barrera, como podría ser el de los túneles del Garraf o el de Vallvidrera.

6.4.4. Localización óptima del P&R

Con todos los parámetros definidos anteriormente podemos realizar un gráfico de las funciones de costes generalizados del viaje con vehículo privado y con ferrocarril. A partir de las ecuaciones (1) y (4) obtenemos el siguiente gráfico para el caso particular del acceso a Barcelona a través del corredor del Maresme:

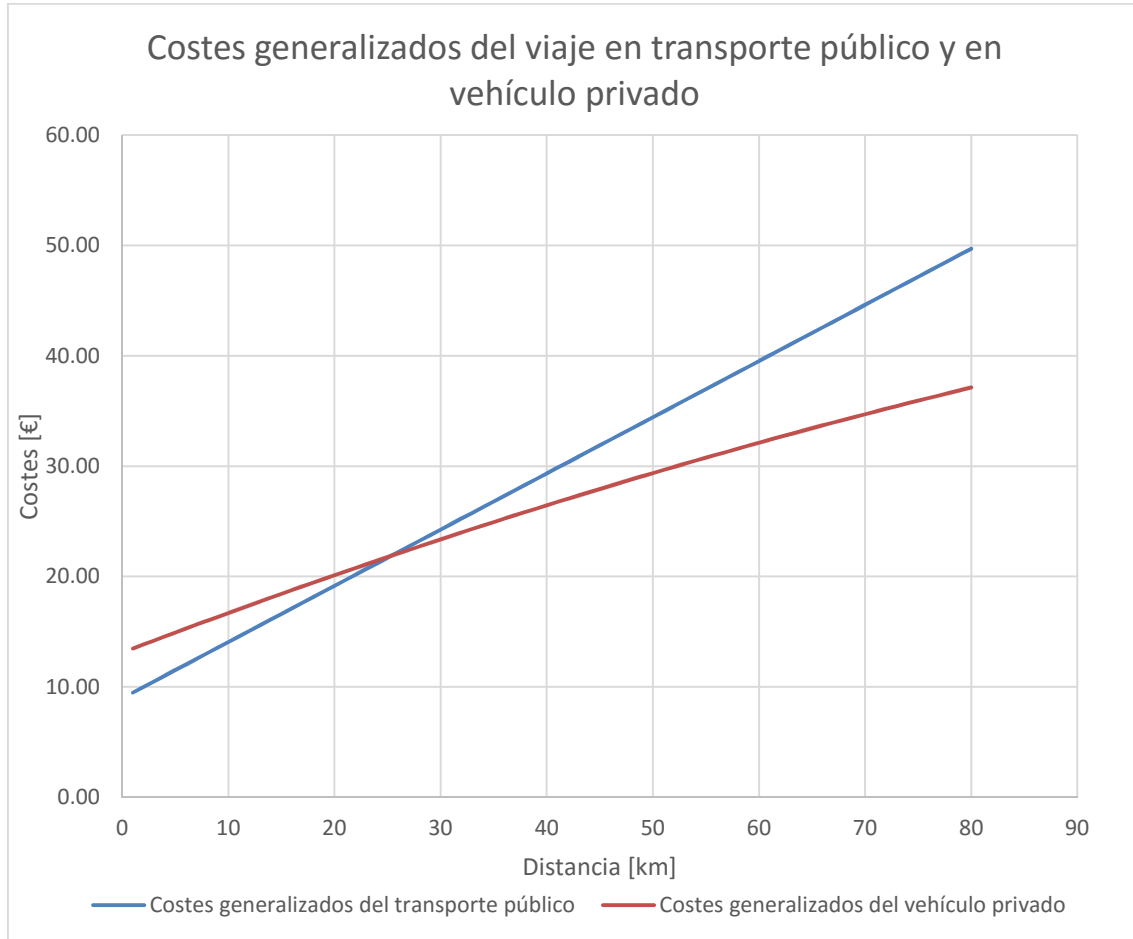


Figura 39. Costes generalizados del transporte público y del vehículo privado para el corredor del Maresme (Autopista C-32 y línea ferroviaria de cercanías R1). Elaboración propia.

Las intersección de curvas de costes generalizados de viaje en transporte público y en vehículo privado de la Figura 39 nos muestran el punto en donde los costes de ir en ferrocarril y en coche hasta al centro de la ciudad son los mismos. Dada la intersección de las rectas en el punto kilométrico (PK) $x_c = 25 \text{ km}$, sabemos que la localización óptima del P&R se encuentra alrededor de x_c .

Para determinar la localización óptima de la instalación de P&R, debemos encontrar en qué punto kilométrico x_p la diferencia de costes $G_h(x_p) - G_p(x_p)$ es mayor, considerando el tramo aguas arriba del P&R.

Dada la intersección de las rectas de la Figura 39 en el punto $x_c=25\text{km}$, evaluaremos dónde está la localización óptima x_p en la franja de 22 a 28 km.

Sea la función,

$$F(x_p) = \int_{x_c}^L G_h(x_p) - G_p(x_p) dx \quad (16)$$

Para hallar la localización óptima debemos encontrar el x_p tal que maximizamos $F(x_p)$. Resolviendo el problema de maximización obtenemos que la localización óptima es a $x_p = \mathbf{22km}$. La gráfica de costes generalizados nos queda de la siguiente manera:

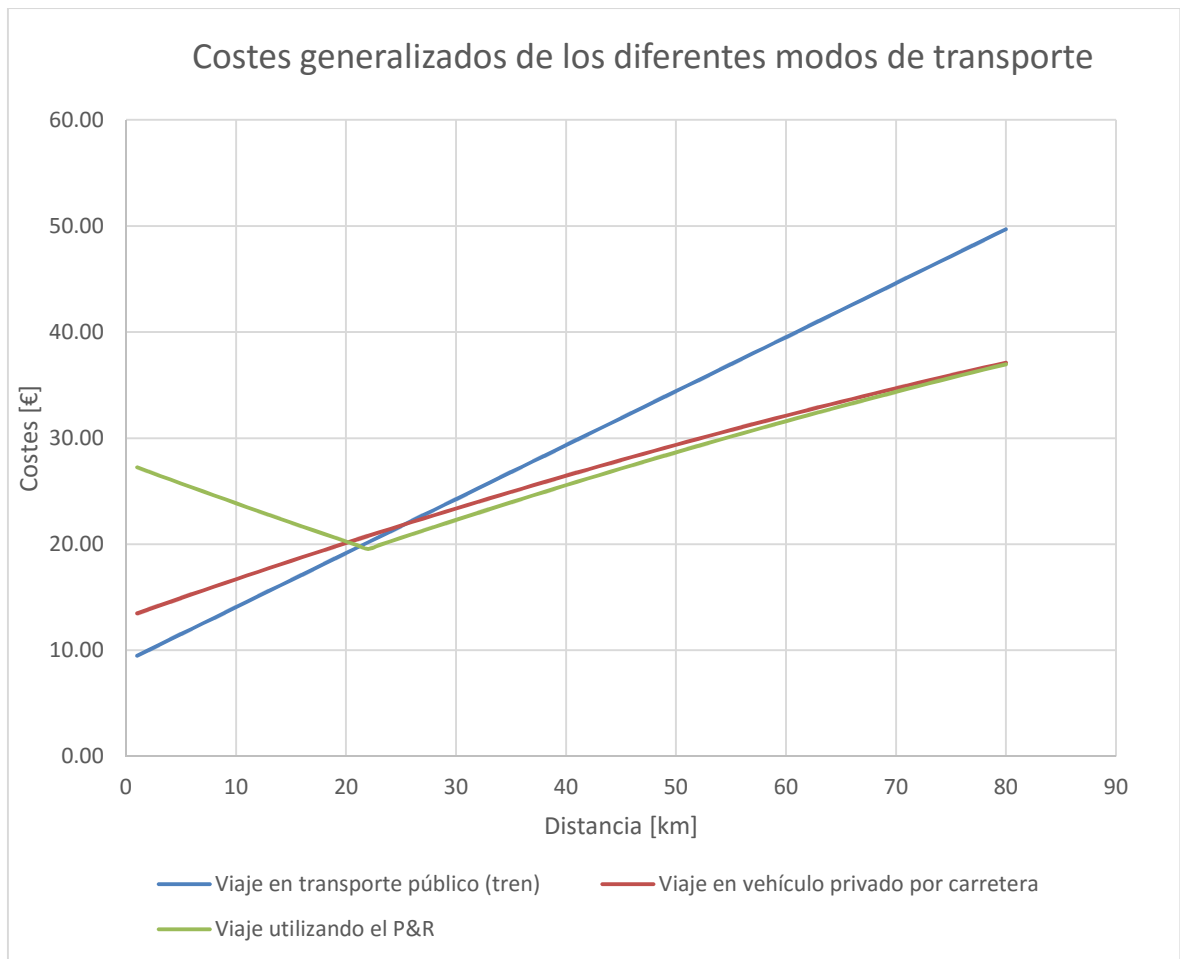


Figura 40. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R a 22km. Elaboración propia.

Con la Figura 40 se demuestra que la curva de costes de los usuarios que utilizan el P&R está por debajo de la curva de los viajeros que realizan su desplazamiento hasta el centro de Barcelona en vehículo privado.

Por lo tanto, se demuestra que para las personas que viven entre $x_p = 22km$ y el PK 76 (longitud del corredor), la manera más eficiente y económica de desplazarse hasta el centro de la ciudad, es realizando el intercambio modal al transporte público.

Por lo tanto, localizaremos el P&R a la altura geográfica de Mataró.

6.5. Otros corredores de acceso a Barcelona

Procedemos de manera análoga al caso del corredor del Maresme pero adaptando los datos a cada uno de los casos estudiados. En el Anejo II se presentan las variables de entrada de cada uno de los corredores de acceso y a continuación mostraremos los resultados obtenidos.

6.5.1. Acceso Vallès Oriental: Autopista AP7 – C33 con P&R de correspondencia con la R2 de cercanías

Se trata del corredor que discurre de Norte a Sur por la comarca del Vallès Oriental. Como eje viario consideremos el tramo de autopista de la AP-7 desde Maçanet hasta Montmeló, que desemboca en la C-33, un tramo de autopista de 10km que conecta con Barcelona por el Nus de la Trinitat. En la Figura 41 podemos localizar ese tramo de la AP-7 que está señalizado como E-15. La conexión de este eje viario con el transporte público se realiza mediante la línea de Rodalies R2, que aparece en verde en la Figura 41.

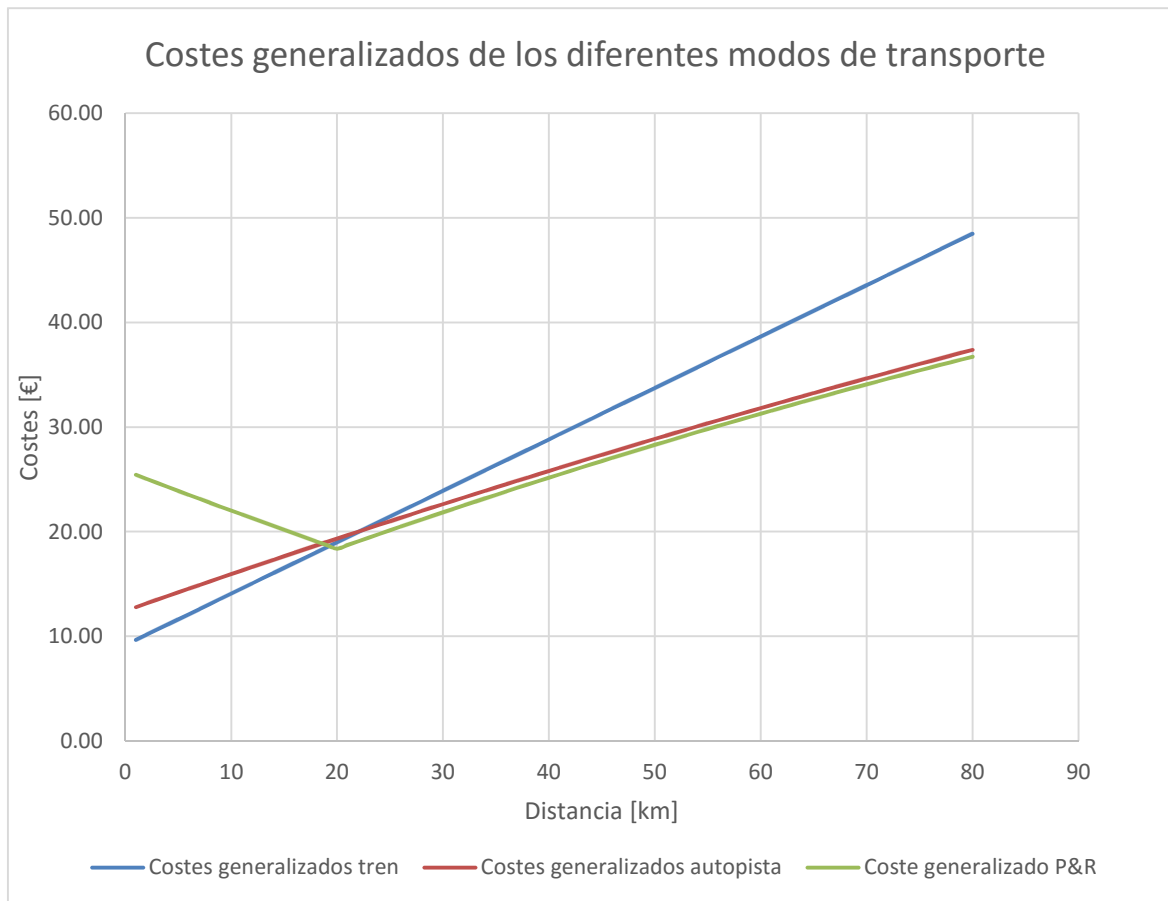


Figura 42. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R situado a 20km de Barcelona. Elaboración propia.

En este caso podemos contemplar que la diferencia de costes entre el modo P&R y el de VP no es muy elevada, de manera que también entrarán en juego otro parámetros como por ejemplo el confort. En el ferrocarril en nivel de confort puede ser mayor puesto que el viajero del vehículo privado tiene que conducir y estar pendiente de la carretera.

Por lo tanto, localizaremos el P&R a la altura geográfica de Granollers.

6.5.1. Acceso Baix Llobregat: Autopista C-32 con P&R de correspondencia con la R2 de cercanías

A continuación analizaremos el corredor viario de la C-32 que conecta las comarcas del Baix Llobregat, el Garraf i el Baix Penedès con Barcelona. En la Figura 43 vemos en verde la línea de ferrocarriles de Rodalies R2, siendo este el eje de transporte público de este corredor.

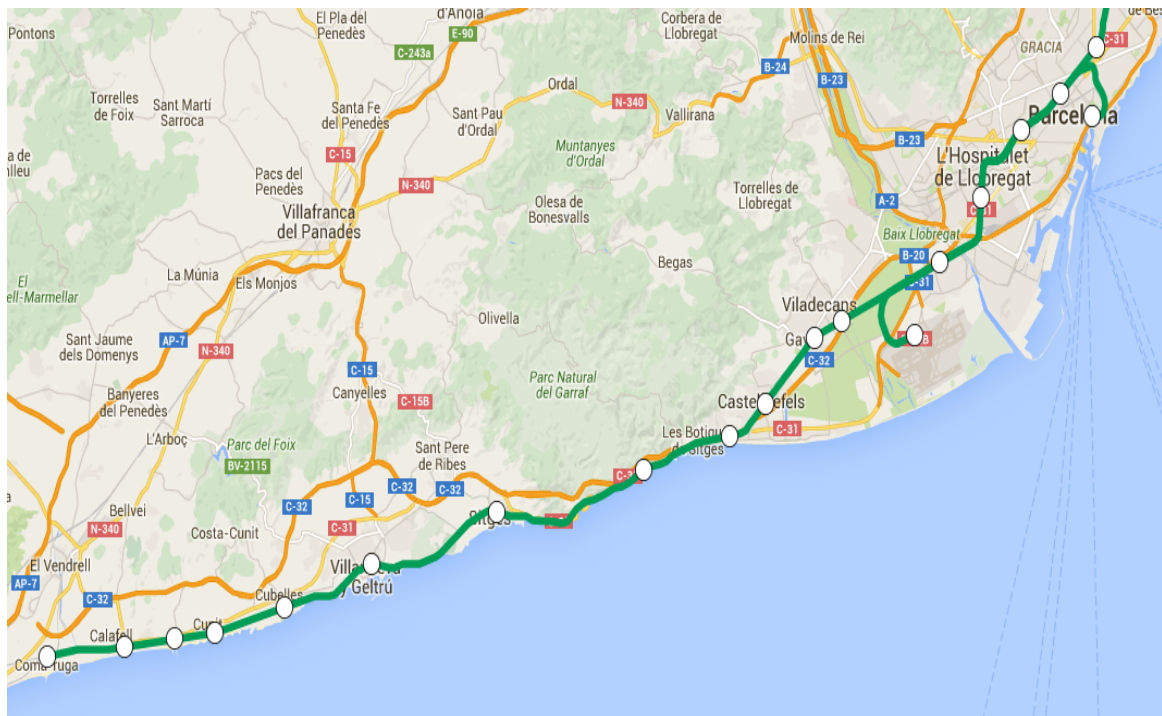


Figura 43. Corredor viario (C-32) y ferroviario (R2 Rodalies) del acceso a Barcelona desde el Baix Llobregat, el Garraf y el Baix Penedès. El trazado ferroviario está destacado en verde y el viario con la etiqueta de C-32. Fuente: Google Maps.

Tal y como podemos apreciar en la Figura 43 en los costes generalizados del vehículo privado aparecen dos escalones. El motivo es el modo de pago con peaje de tipo barrera de esta autopista, que ha sido introducido en el modelo para adaptarse a las condiciones de pago de este corredor. A la altura de Cubelles (PK 40) tenemos un peaje barrera de 1.88€ y en los túneles del Garraf (PK 15) también existe otro de 3.16€. (Autopistas, s.f.). Como resultado de estas condiciones de contorno, vemos que la curva de costes generalizados del vehículo privado se aproxima varias veces a la del transporte público.

La intersección entre las dos curvas es en el PK 30, pero localizando el P&R a esa altura no resulta atractivo en términos de costes para los usuarios, encontrándose además demasiado alejado de la ciudad (ver Figura 44).

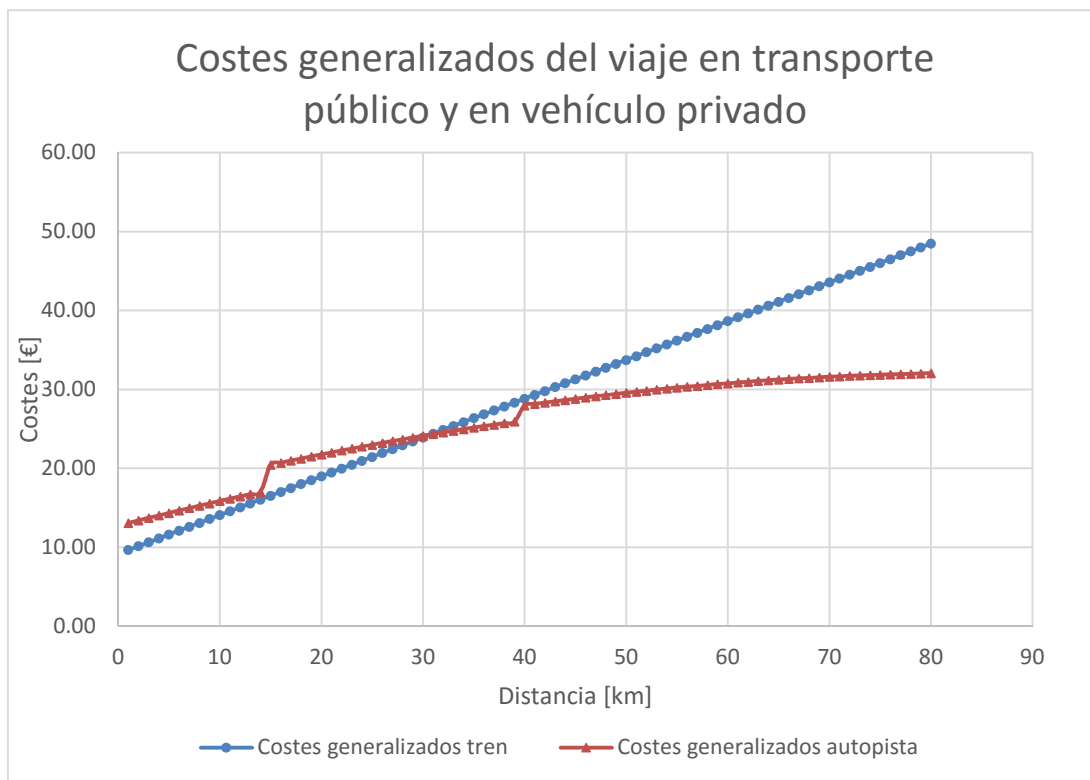


Figura 44. Costes generalizados del transporte público y del vehículo privado para el corredor del Baix Llobregat, Garraf y Baix Penedès. (Autopista C-32 y línea ferroviario de cercanías R2). Elaboración propia.

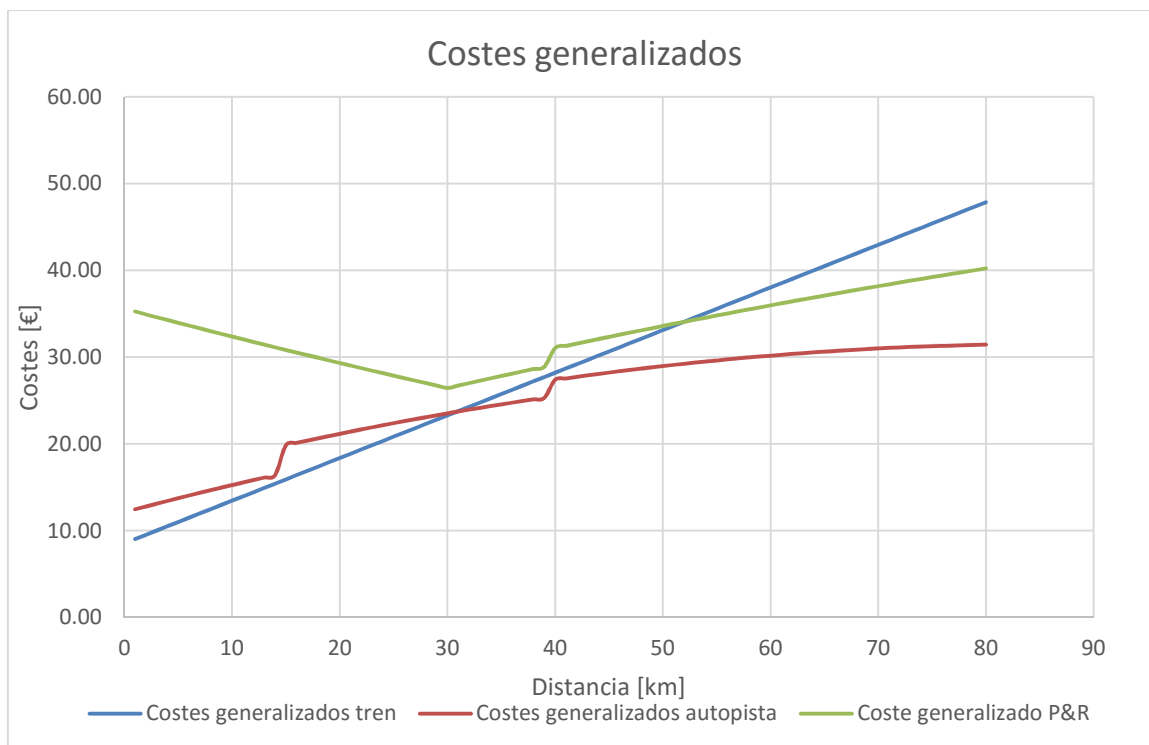


Figura 45. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R situado a 30km de Barcelona. Corredor Baix Llobregat-Garraf-Baix Penedès. Elaboración propia.

Realizando un análisis de sensibilidad del modelo con la variable la localización del P&R x_p , vemos que se debe colocar el P&R próximo a la primera intersección de las curvas de costes de tren y carretera (PK 14).

Así, procedemos análogamente a los casos anteriores y encontramos que la localización óptima es a $x_p = 12 \text{ km}$. En la Figura contemplamos como se pueden atraer a los usuarios que se encuentren entre el PK 15 y el 45.

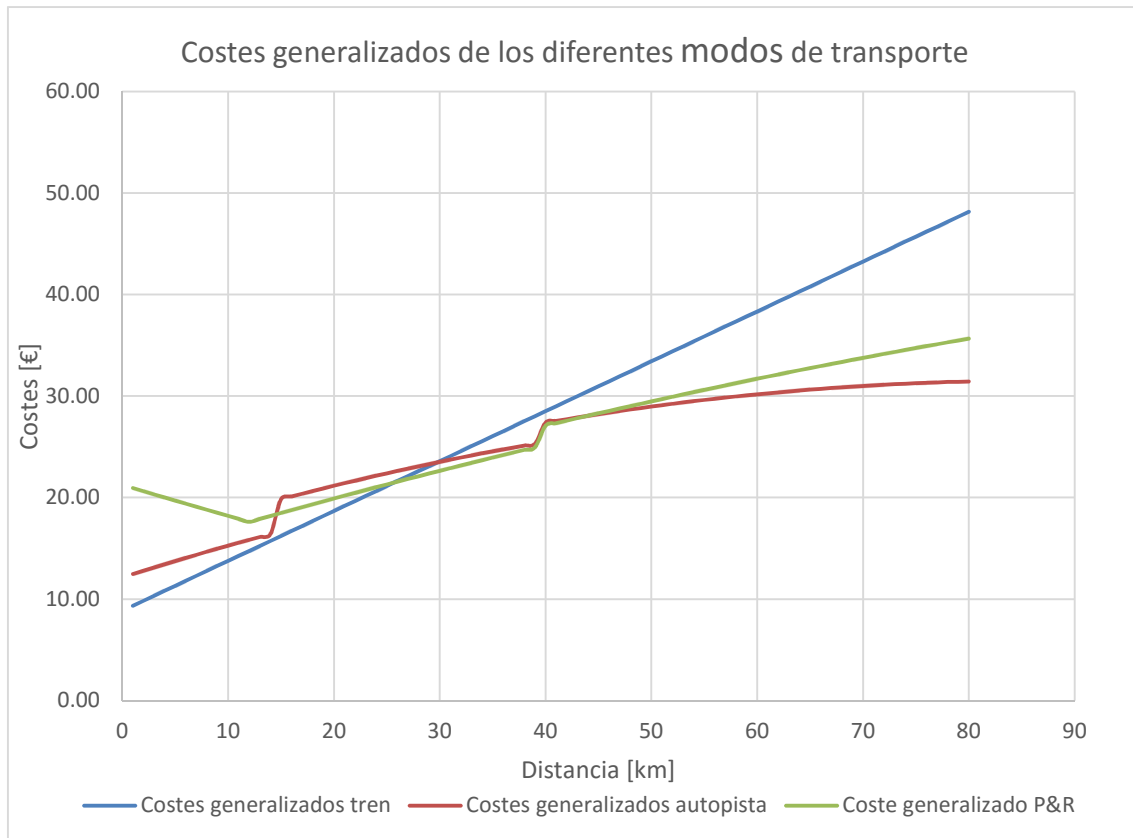


Figura 46. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R situado a 12 km de Barcelona. Corredor Baix Llobregat-Garraf- Baix Penedès. Elaboración propia.

Por lo tanto, localizamos el P&R pasado los túneles del Garraf, a la altura de Castelldefels.

6.5.2. Acceso Vallès Occidental: Autopista C-16 con P&R de correspondencia con Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya

En este apartado analizaremos la localización del P&R en el corredor de acceso del Vallès Occidental. Consideremos como eje viario la autopista C-16 que desemboca en Barcelona después de los túneles de Vallvidrera. En este caso, se realiza la correspondencia al transporte público con los Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, puesto que es el operador ferroviario que ofrece un buen servicio en esta zona. En la Figura 47 podemos ver el corredor viario destacado con la etiqueta C-16 y las líneas ferroviarias de FGC que hay en la zona en marcadas en naranja.

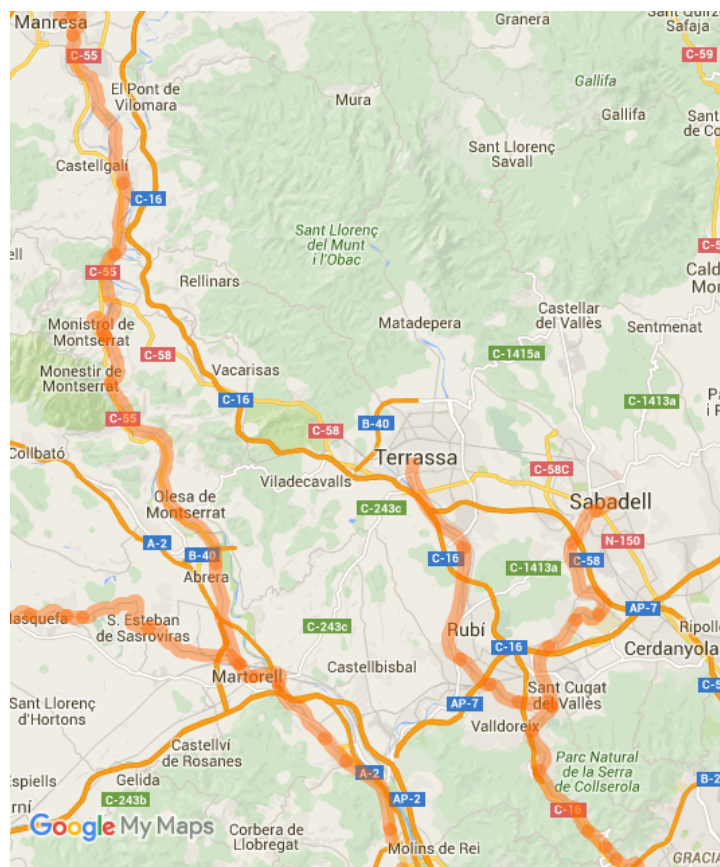


Figura 47. Corredor viario (C-16) y servicio ferroviario (FGC) del acceso a Barcelona desde el Vallès Occidental. El trazado ferroviario está destacado en naranja y el viario con la etiqueta de C-16. Fuente: Google Maps.

Esta autopista también está tarifada mediante con peaje barrera. Así pues, en la Figura 48 vemos como existen dos escalones en la curva de costes generalizados del viaje por carretera correspondientes a los peajes de les Fonts (Sant Cugat) y de Olesa de Montserrat.

La intersección entre las curvas de costes del transporte público y del vehículo privado es en el punto $x_c=25\text{km}$. Si planteamos la función de maximización de los beneficios del usuario (16) definida anteriormente, la localización óptima del P&R es a $x_p = 22 \text{ km}$.

Este P&R estará localizado más o menos a la altura del municipio de Sant Cugat. En la Figura 48 contemplamos la posibilidad de captar muchos usuarios de vehículo privado para que realicen el intercambio modal a los FGC, incluso viajeros que viven aguas abajo del P&R (entre el PK 18 y 45).

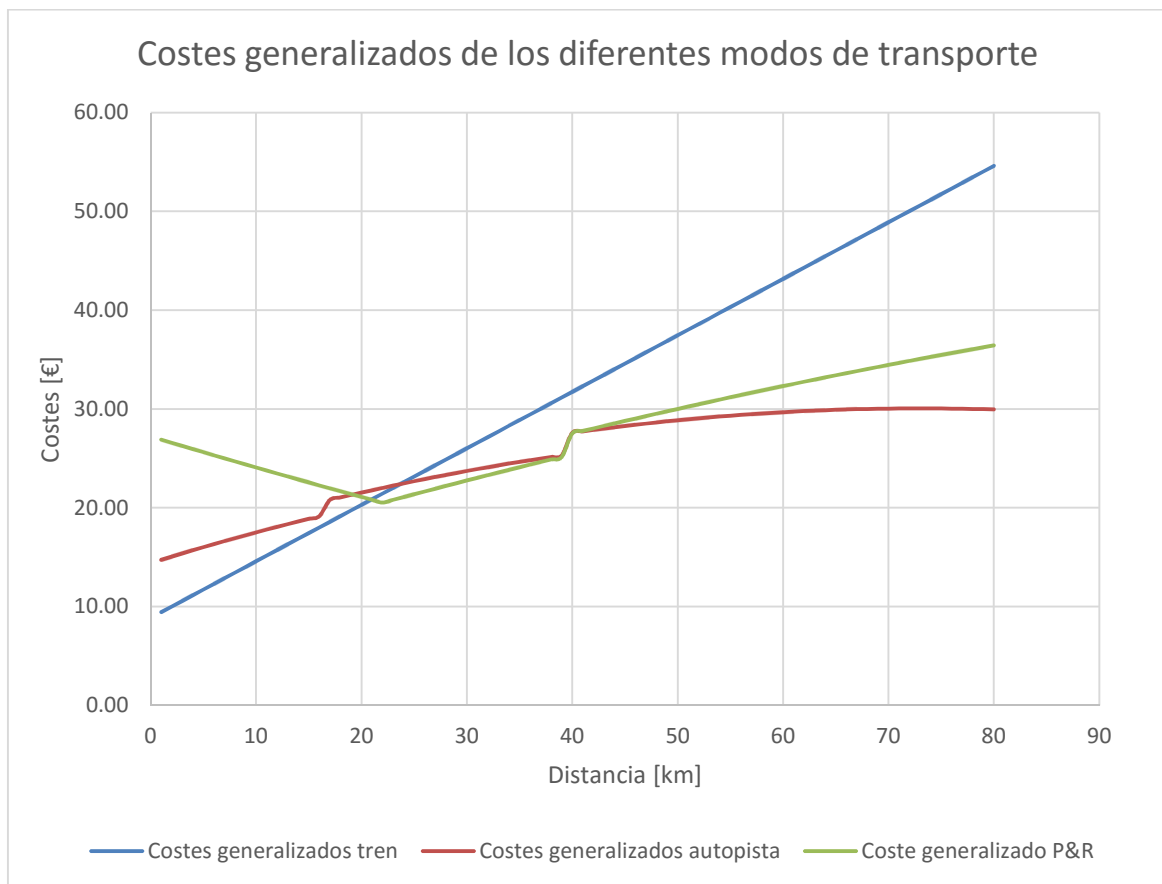


Figura 48. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R situado a 20 km de Barcelona. Corredor Vallès Occidental. Elaboración propia.

6.5.3. Acceso Alt Penedès: Autopista AP-7 con P&R de correspondencia con la R4 de Rodalies o FGC a partir de Martorell

Otro de los corredores importantes es el de la AP-7 que desemboca en la B-23, uno de los accesos más importantes de Barcelona. Este corredor es el que conecta el Alt Penedès con la ciudad condal. El principal modo de transporte público de este corredor es la línea de ferrocarril R4 de Rodalies.



Figura 49. Corredor viario (AP-7, B-23) y ferroviario (R4 Rodalies) del acceso a Barcelona desde el Alt Penedès. El trazado ferroviario está destacado en naranja y el viario con la etiqueta de AP-7 y B-23. Fuente: Google Maps.

Para este corredor, el P&R debe situarse en torno a $x_c = 18 \text{ km}$ que donde se intersecan las rectas de costes del TP y el VP. Procediendo de manera análoga a los corredores anteriores, llegamos a la conclusión de que el P&R debe situarse a $x_p = 16 \text{ km}$.

En dicho caso deberíamos colocar el P&R en la estación de Martorell.

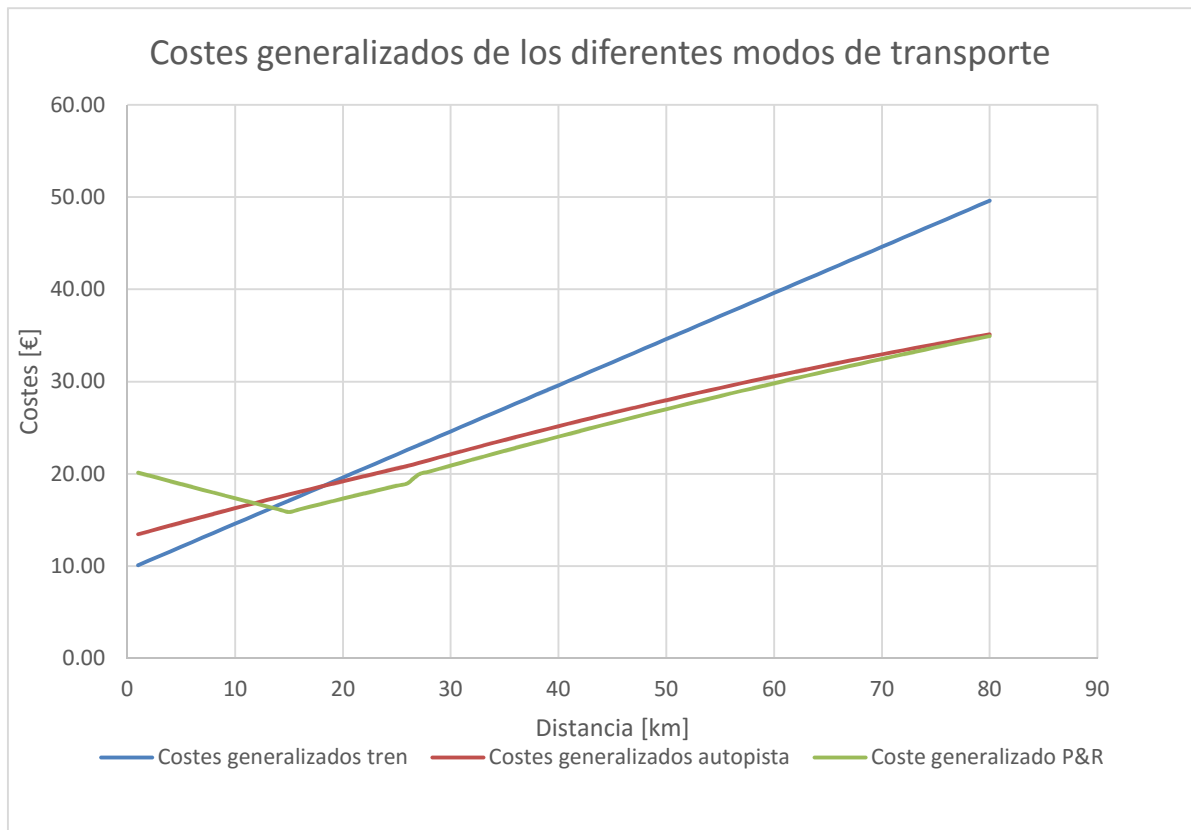


Figura 50. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R situado a 22 km de Barcelona. Corredor Vallès Occidental. Elaboración propia.

6.5.4. Acceso Alt Penedès desde Igualada: Autovía A-2 con P&R de correspondencia con la R6 de FGC

Finalmente, analizaremos otro de los accesos de entrada a Barcelona que tiene un gran volumen de tráfico. Se trata del eje viario de la Autovía A-2 que desemboca en la B-23 que accede a la ciudad. La correspondencia ferroviaria es la línea R6 de FGC, que tiene un trazado prácticamente similar al viario.

En este caso la localización óptima se encuentra alrededor de a $x_c = 19 \text{ km}$ del centro de Barcelona. No obstante, después de realizar el análisis correspondiente que nos determina la localización óptima, vemos que este no resulta ser uno de los corredores más atractivos para colocar el P&R puesto que la curva de costes de la utilización del P&R está para la mayor parte del trazado viario por encima de la de los costes del viaje en vehículo privado.



Figura 51. Corredor viario (A-2, B-23) y ferroviario (R6 de FGC) del acceso a Barcelona desde el Alt Penedès vía Igualada. El trazado ferroviario está destacado en gris y el viario con la etiqueta de A-2 y B-23. Fuente: Google Maps.

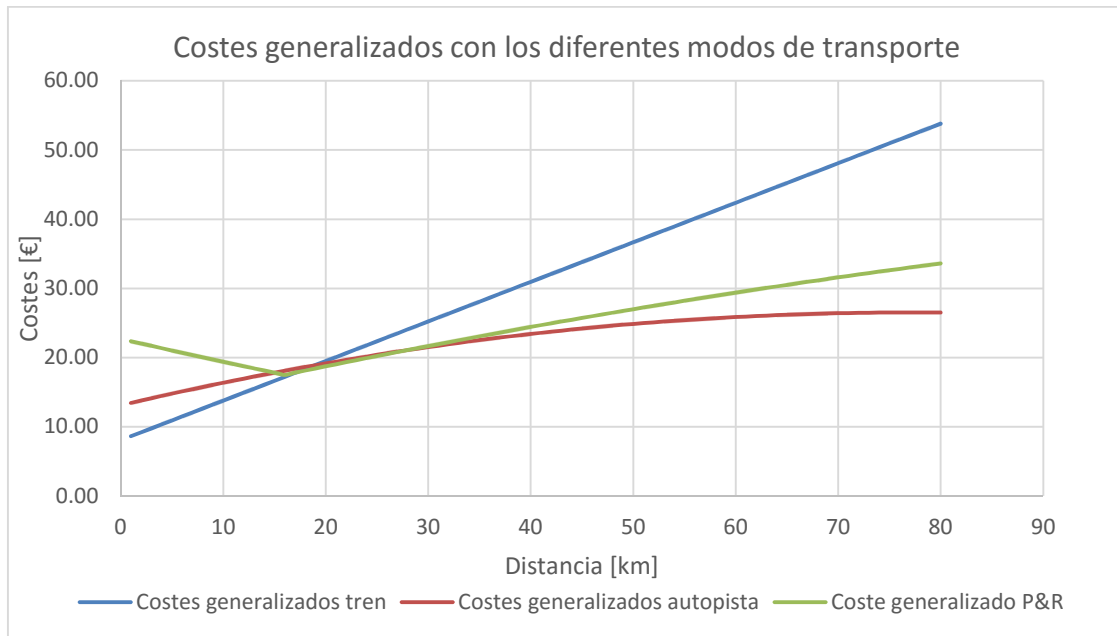


Figura 52. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R situado a 16 km de Barcelona. Corredor Alt Penedès desde Igualada. Elaboración propia.

Luego en este corredor de acceso, no resulta eficiente la cadena de transporte modelizada en este trabajo.

7. Como integrar las nuevas tecnologías en el modelo de intermodalidad

Lejos de entrar en los detalles de una aplicación específica y detallada de las nuevas tecnologías en el modelo de este trabajo, en éste capítulo presentaremos cuales son las ventajas que las TIC nos pueden ofrecer.

El proyecto de *Mobility as a service* que actualmente está en marcha en la Unión Europea involucra todas las aplicaciones TIC que hemos visto durante el capítulo 4. Este proyecto, conocido con el nombre de Moveus (UE, Junio 2016), tiene como objetivo cambiar los hábitos de movilidad en Europa mediante la provisión de servicios personalizados de información, facilitando a sus usuarios la mejor opción de transporte, mientras proporciona información acerca del ahorro en términos de eficiencia energética asociado. Una de las claves del éxito es la promoción de la intermodalidad, ofreciendo la posibilidad de planificar un viaje con todos los modos de transporte públicos y privados posibles, e incluso, dando la opción de realizar la reserva de los mismos.

Este tipo de sistemas permitiría por ejemplo, en el caso de nuestro modelo, realizar una reserva de una plaza de aparcamiento en un P&R, comprar un billete de ferrocarril y al mismo tiempo reservar una bicicleta eléctrica del Bicing para realizar la última milla del viaje una vez hemos llegado a la ciudad. Esto podría ser posible añadiendo tan sólo en una aplicación de dispositivo móvil cuál es nuestro destino final. La reserva de los transportes y el pago se podría realizar directamente desde la plataforma del Smartphone o con una tarjeta contactless como la que llegará en 2018 a Catalunya (T-Mobility). Este servicio permitiría reducir los tiempos de transferencia entre modos de transporte y además ofrecer mayor garantía en el viaje, como por ejemplo, asegurarse de que tenemos una plaza de aparcamiento asignada o una bicicleta eléctrica al llegar a la ciudad.

No obstante, para que esto sea posible todos los operadores de transporte público y privado deberían trabajar en común, permitiendo así a los viajeros tener una plataforma que ofrezca esta intermodalidad entre diversos servicios de transporte de manera sencilla. La tecnología para ofrecer un servicio de este tipo ya existe hoy en día, sólo falta la cooperación entre operadores de transporte para que esto sea posible.

En Barcelona, la llegada de la T-Mobilitat puede ser una buena oportunidad para acercarnos al modelo de *Mobility as a service* planteado por la Unión Europea. Por otra parte, la aplicación

web MOU-TE de la Generalitat de Catalunya que actualmente ya ofrece intermodalidad entre vehículo privado y transporte público, podría promocionar la utilización de los P&R.

8. Viabilidad del modelo en el contexto económico, social y político actual

8.1. Viabilidad económica

Con el fin de tener una idea sobre la viabilidad económica de este modelo, en este apartado realizaremos un presupuesto de los costes de construcción de una instalación de P&R. Utilizamos como ejemplo ilustrativo el caso del corredor del Maresme.

Las hipótesis que se tienen en cuenta para efectuar un presupuesto son las siguientes:

- Suponemos que se establece el P&R en los alrededores de Mataró. Se podrá captar a usuarios que se encuentren aguas arriba de esta población.
- Según datos de Idescat (2016), 55.000 habitantes del Maresme se desplazan por motivos laborales fuera de su municipio. Aguas arriba de la localización óptima del P&R (Mataró) tenemos el 30% de esa de población. De manera que son un total de 16.500 usuarios los usuarios concernidos.
- Establecemos como hipótesis que esos 16.500 habitantes que se desplazan fuera de su municipio para trabajar, tienen su lugar de trabajo en Barcelona.
- Realizando un modelo probit de elección de modos (entre el vehículo privado y el P&R) obtenemos una captación del 30% de los usuarios que consideran que el modelo de intercambio modal es atractivo. Por lo tanto, captaremos un total de 4950 vehículos.

En base a estas hipótesis, crearemos dos instalaciones de P&R colindantes a Mataró cada una de 2500 plazas. Cada parking de 2 plantas con 1250 plazas en cada una. La superficie ocupada es de aproximadamente 7500m².

Según el estudio de ATM 2008 (Estudi del dimensionament i localització dels aparcaments d'intercanvi modal en les xarxes ferroviàries interurbanes operades per Renfe Rodalies i FGC) se estima como presupuesto de ejecución de construcción (PEC) de una plaza de aparcamiento las siguientes cantidades:

- P.E.C./plaza de aparcamiento en altura: 7.000 €

- P.E.C./plaza de aparcamiento en superficie: 3.000 €

Estos valores (sin IVA) incluyen un 13% en concepto de Gastos Generales i un 6% de Beneficio Industrial.

En base a estos costes, el coste de cada aparcamiento de dos plantas es de 12.5M€.

No obstante, para el caso del Maresme, si hiciéramos pagar a los usuarios 1.28€/diario, que es el precio medio que están dispuestos a pagar los usuarios que realizar intercambio modal según el estudio de ATM 2012 obtendríamos el siguiente gráfico de costes generalizados para los diferentes modos:

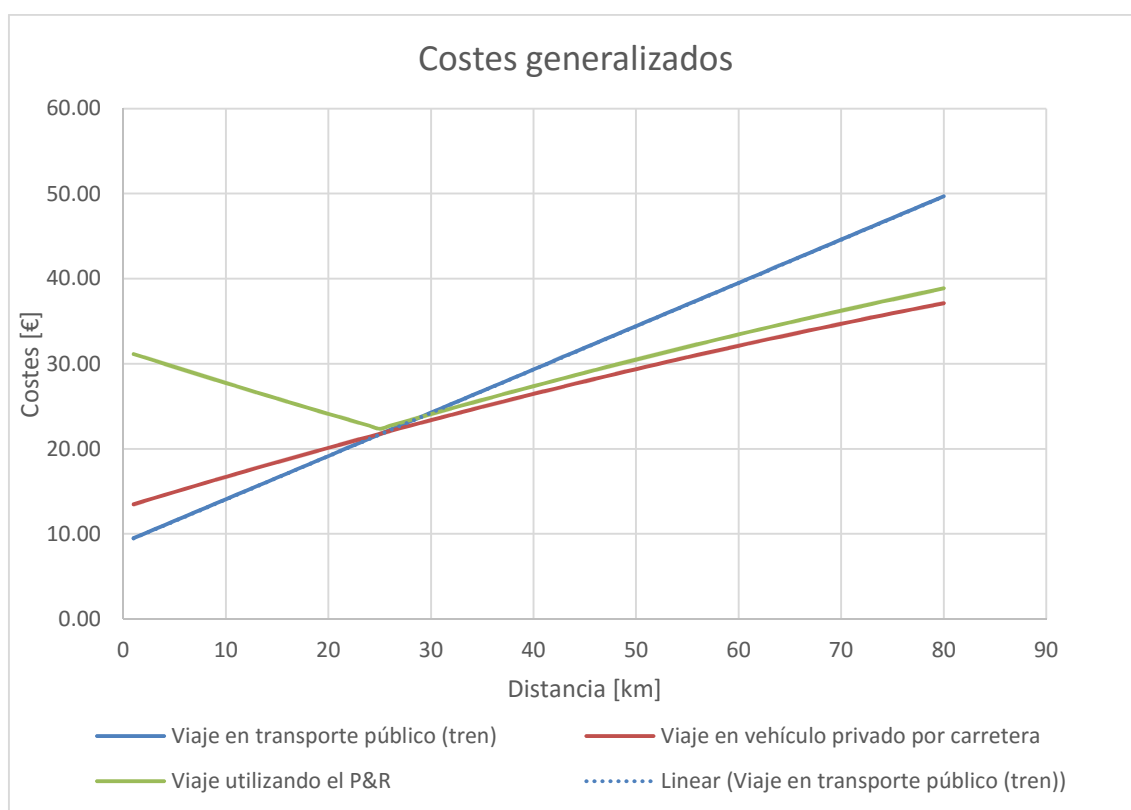


Figura 53. Costes generalizados de los viajes en tren, en vehículo privado y realizando el intercambio modal en el P&R a 22km y con una tarificación de 1.28€/diarios. Elaboración propia.

Tal y como vemos en la Figura 53, deja de ser rentable la utilización del P&R en el caso del Maresme si la tarificación es de 1.28€/diarios. Esto implica que se debería subvencionar por parte de la administración o por el operador de ferrocarril en cuestión. De hecho, la puesta en marcha del modelo de P&R también aumenta los beneficios de los operadores de transporte ya que aumenta la demanda. Por lo tanto, se podría establecer un partenariado público privado entre la administración y el operador ferroviario para realizar la inversión.

8.2. Viabilidad Social y Política

Hoy en día está empezando a cambiar la mentalidad de los ciudadanos. La sociedad está más sensibilizada con el medio ambiente, de manera que un modelo de este tipo que resulta más sostenible tendría una buena aceptación social.

Por otra parte, las nuevas tecnologías están cambiando el paradigma de la movilidad. Nos permiten calcular de manera muy precisa cuál es la ruta más óptima en función de nuestras preferencias y dándonos la posibilidad de utilizar un gran número de modos de transporte. Esta condición de contorno es muy favorecedora para la implantación de un modelo como el que presenta este trabajo.

Desde el punto de vista político, se tiene que convencer a la administración de que el futuro de la movilidad pasa por la intermodalidad. Pero el usuario no la utilizará hasta que no haya una inversión en transporte público que la haga eficiente.

La política actual tiene en mente la mejora ambiental de las ciudades. Concretamente en Barcelona los niveles de contaminación están por encima de los límites establecidos por la Unión Europea.

Otra transformación que se quiere implantar en Barcelona a nivel político y social es el de las Supermanzanas. Las Supermanzanas son células urbanas de unos 400 por 400 metros, en cuyo interior se reduce al mínimo el tráfico motorizado y el aparcamiento de vehículos en superficie, y se da la máxima preferencia a los peatones en el espacio público. El tráfico motorizado circula por las vías perimetrales, mientras las calles interiores se reservan al peatón y, en condiciones especiales, a cierto tipo de tráfico como vehículos de residentes y servicios. La Supermanzana se perfila, por tanto, como una solución integral que une urbanismo y planificación de la movilidad con el objetivo principal de limitar la presencia del vehículo privado en el espacio público y retornar éste al ciudadano.

La creación de estas Supermanzanas no es posible si no va acompañada de una reducción del tráfico motorizado de la ciudad, de manera que el primer paso para hacer viable este tipo de proyectos es la reducción de los vehículos privados que acceden desde la Región Metropolitana hasta Barcelona.

9. Conclusiones y reflexiones finales

Después de analizar los resultados obtenidos en este trabajo, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Hemos visto que los costes generalizados de los usuarios que viven aguas arriba de una instalación de P&R son inferiores si se realiza la cadena de transporte modal presentada en este trabajo (a excepción del corredor viario de la A-2). Por lo tanto, para los habitantes que se desplacen desde la Región Metropolitana hasta la ciudad de Barcelona, el uso del P&R supone una reducción de los costes de viaje.
- La localización óptima para los P&R en los accesos de Barcelona es de 12 a 22 kilómetros del centro, dependiendo de cada uno de los accesos.
- Se ha demostrado que el modo de transporte público urbano más eficiente para el desplazamiento de la última milla es la bicicleta eléctrica compartida. Para los desplazamientos de 1 hasta 3km de distancia, la bicicleta eléctrica es el modo de transporte óptimo. Este nuevo modo para el último escalón de la cadena de transporte permite que los modelos de P&R sean más atractivos para el usuario.
- La aplicación de este modelo supone la reducción de un porcentaje de vehículos no muy elevado con respecto al tráfico global de la ciudad. No obstante, sí que puede ser un cambio sustancial en el nivel de congestión de la ciudad y en la contaminación ambiental.

9.1. Proyección futura del modelo

Este trabajo demuestra la viabilidad de una cadena intermodal de transporte eficiente. No obstante, no todas las condiciones de contorno actuales son las ideales para la aplicación inmediata del mismo.

En primer lugar, se debe convencer a la administración para que realicen las inversiones necesarias para las instalaciones de P&R y la mejora del transporte público. La aplicación de este modelo conlleva a una reducción del tráfico del vehículo privado en la ciudad, lo cual interesa a la administración para reducir los altos niveles de contaminación de la urbe que superan los límites establecidos por la UE.

En segundo lugar, se debe convencer a los ciudadanos. Para ello, se necesita eficiencia en los intercambiadores modales y un servicio de transporte público eficiente y fiable. Por ejemplo, hoy en día el servicio de Renfe Rodalies no tiene una buena aceptación en la ciudadanía

puesto que el nivel de incidencias es alto, que se traduce en una inseguridad del servicio para el usuario. De manera que antes de la implantación del modelo de P&R se debería realizar una inversión en transporte público para mejorar su eficiencia y fiabilidad.

Otro de los aspectos cruciales para la intermodalidad es el consenso entre los diferentes operadores de transporte para que los tiempos de transferencia modal se minimicen. Esto se puede conseguir coordinando los horarios entre los distintos servicios de transporte público.

Finalmente, destacar el papel de las nuevas tecnologías en las Smart City del siglo XXI. Este nuevo paradigma tecnológico hace que la movilidad de las ciudades se esté transformando de manera exponencial en las últimas décadas. El proyecto de *Mobility as a service* de la Unión Europea ya muestra que la intermodalidad es uno de los objetivos de la aplicación de las nuevas tecnologías. La integración de todos los modos de transporte públicos y privados en una aplicación de planificación de rutas es el futuro. Si además se puede realizar la reserva y el pago de todos los modos de transporte (ferrocarril, bus, bicicleta compartida, coche compartido, moto compartida, etc) que se utilicen durante el viaje, el éxito está asegurado. Por lo tanto, podemos concluir que las TIC pueden ofrecer muchas ventajas al modelo de este trabajo siempre y cuando éstas se apliquen de manera inteligente y con un fin determinado.

10. Referencias

- ATM. (2008). Estudi del dimensionament i localització dels aparcaments d'intercanvi modal en les xarxes ferroviàries interurbanes operades per Renfe Rodalies i FGC.
- ATM. (2012). *Anàlisi del sistema ferroviari de l'RMB*.
- ATM. (2013). *Impuls dels Park & Rides a les estacions de Rodalies de Catalunya*.
- Autopistas. (2016). Recuperado el 12 de Junio de 2016, de <https://www.autopistas.com>
- Bicing. (2016). *Bicing*. Obtenido de <https://www.bicing.cat>
- Biobike. (2016). Obtenido de www.biobike.es
- Board, T. R. (2000). *Highway capacity manual*. Washington, DC.
- Booz Allen, H., & Mike, V. (2007). *Park and Ride: Characteristics and Demand Forecasting*.
- Eurostat. (2015). *Just over 40% of the EU population lives in cities*. Eurostat.
- EUROTEST & FIA. (2009). *Park and Ride: State of art in Europe*.
- Generalitat de Catalunya. (2016). Obtenido de <http://web.gencat.cat/es/actualitat/reportatges/t-mobilitat/>
- Generalitat de Catalunya.. (2011). *IMD dels trams de carretes de la xarxa de carreteres de la Generalitat de Catalunya*. Barcelona.
- IDAE. (2007). *Guía metodológica para la Implantación de Sistemas de Bicicletas Públicas en España*.
- Institut d'Estadística de Catalunya (2015). Obtenido de <http://www.idescat.cat>
- Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (2016). *Iermb*. Obtenido de <https://iermb.uab.cat/ca/>
- Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (2014). *Enquesta de mobilitat en dia feiner 2014*.
- Juncadella, O. (2016). *Els bescanviadors i les necessitats dels usuaris en la intermodalitat. Aportacions de la tecnologia*.

- Lam, C. y. (2001). The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment. *Transportation Research*, Part E 37, págs. 231-251.
- Llauradó, M. V. (1996). La movilidad urbana durante los juegos Olímpicos. En *El transporte urbano: un desafío para el próximo milenio* (págs. 105-141).
- Mail, O. (2013). How Oxford led the way to create Park and Rides. *Oxford Mail*.
- Martin, D. (2007). *Comparación de tiempos de trayectos Metro-A Pie-Bici en la zona urbana de Barcelona*.
- Ministerio de Fomento (2013). *El transporte urbano y metropolitano en España*.
- Recarey, L. E. (2010). *Aparcamientos disuasorios: propuesta de aplicación en el municipio de Vigo*.
- Rodalies (2016). Obtenido de <http://rodalies.gencat.cat/es>
- Sanz, E. (2014). ¿Cuánto estás dispuesto a pagar por una plaza de garaje? *El Confidencial*.
- Spillar, R. (1997). *Park and Ride Planning and Design Guidelines*. Parsons Brinckerhoff Inc.
- Syndicat des Transports d'Ile de France (2013). *Les Parcs Relais en Île de France*.
- TMB. (2016). Obtenido de <http://www.tmb.cat/es/transports-en-xifres>
- TM.B (2012). *Nova xarxa de bus*.
- TravelWest. (Mayo 2016). Obtenido de TravelWest: <http://travelwest.info/>
- UE. (Junio 2016). *Mobility as a service. Moveus*. Obtenido de <http://www.moveus-project.eu/>
- Wang , J., Yang , H., & Lindsey, R. (2004). Locating and pricing park-and-ride facilities in a linear monocentric city with deterministic mode choice. *Elsevier*, 709-731.